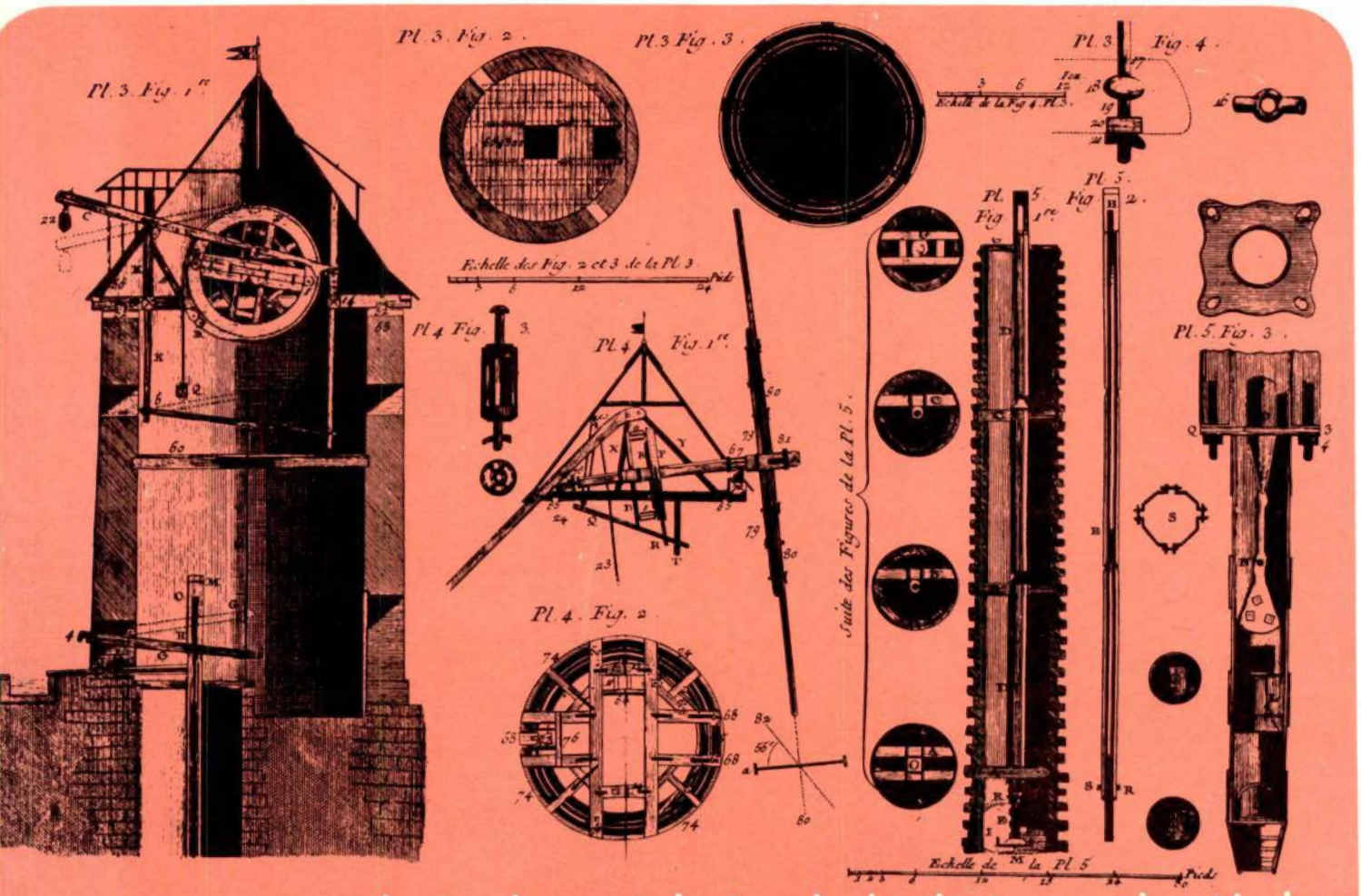
técnica



396 associação dos estudantes do instituto superior técnico
março 1970 revista de engenharia

VARÕES DE AÇO DE ALTA RESISTÊNCIA PARA BETÃO ARMADO TIPO A. 40 («Heliaço» e «SNT 40»)

TENSÕES DE SEGURANÇA

Ra = 2400 kg/cm²
e
Ra = 4000 kg/cm² (SISMOS)

Literatura e Tabelas de Cálculo fornecidas gratuitamente

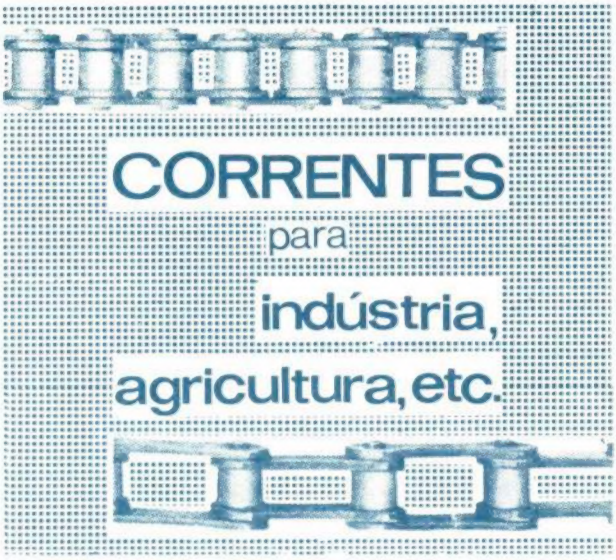
HELIAÇO, LDA.

R. DE S. JULIÃO, 41, 4.º D. — LISBOA

Tel.: 36 78 17 - 32 37 06 - 36 94 77

REGINA-EXTRA

REX-REGINA



AUTO-LUSITANIA

ALFREDO DUARTE, L.da

AVENIDA DA LIBERDADE, 73-77
LISBOA

UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA

S. A. R. L.

SEDE

Rua de Alexandre Herculano, 244 — PORTO

TELEFONES: 2 76 76/9 e 2 18 38

DELEGAÇÃO

Rua Rosa Araújo, 35 — LISBOA

TELEFONES: 53 11 81/7 e 53 33 33

●

ELECTRICIDADE DO LINDOSO

●

A UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA, S. A. R. L. distribui, pela mais extensa rede de alta tensão em Portugal, (cerca de 3 500 km) energia eléctrica em 70 concelhos, nos distritos de VIANA DO CASTELO, BRAGA, PORTO, AVEIRO, COIMBRA, VISEU, LEIRIA, SETÚBAL e ÉVORA.

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão — Setúbal

Telef. 228824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 328201/2/3

técnica

NÚMERO 396 — MARÇO DE 1970 — ANO XLV — VOLUME XXXII — PUBLICAÇÃO MENSAL

Director

João Soares Alves

Administrador

Silvério de Sousa Mendes

Secretário

Raí Coutinho Torrinha

Chefe de Redacção

Vladimiro de Oliveira

Redactores

Alvaro Manuel Cortez
Francisco Toco Emílio
Henrique Nunes Garcia
Maria Manuela Mota

Assinaturas

		5 Nos.	10 Nos.
Continente e ilhas	—	85$00	160$00
Ultramar, Brasil e Espanha	—	95$00	170$00
Estrangeiro	—		180$00

Número avulso — 25$00

Não se publica em Agosto e Setembro.

Os artigos assinados são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

Composto e impresso na Tipografia Jorge Fernandes, Lda. — Rua da Cruz dos Poiais 108 — Lisboa

SUMÁRIO

275 *EVANGELISTA MARECOS E NEVES CASTANHETA* — **Estudo do comportamento de estruturas sob a acção do sismo de 28 de Fevereiro de 1969.**

Study of structures under 28 th February 1969 Portugal earthquake seismic.

299 *DUARTE-RAMOS* — **Linhas polifásicas uniformes e lineares em funcionamento sinusoidal permanente equilibrado.**

Study of linear homogeneous polyphase transmission lines by balenced steady-state sinusoidal regime.

307 *DIAMANTINO DURÃO* — **Motores tipo Wankel.**

Wankel Engines.

317 *JOSÉ FOLQUE E CABRAL PINTO* — **Influence of the mean stress on the strength characteristics evaluated by one-specimen tests.**

Influência da tensão média nas características de resistência à compressão.

321 **Vida Escolar e Associativa**

Luís Moniz Pereira — Introdução aos autómatos infinitos e teoria da computabilidade.

331 **Bibliografia**

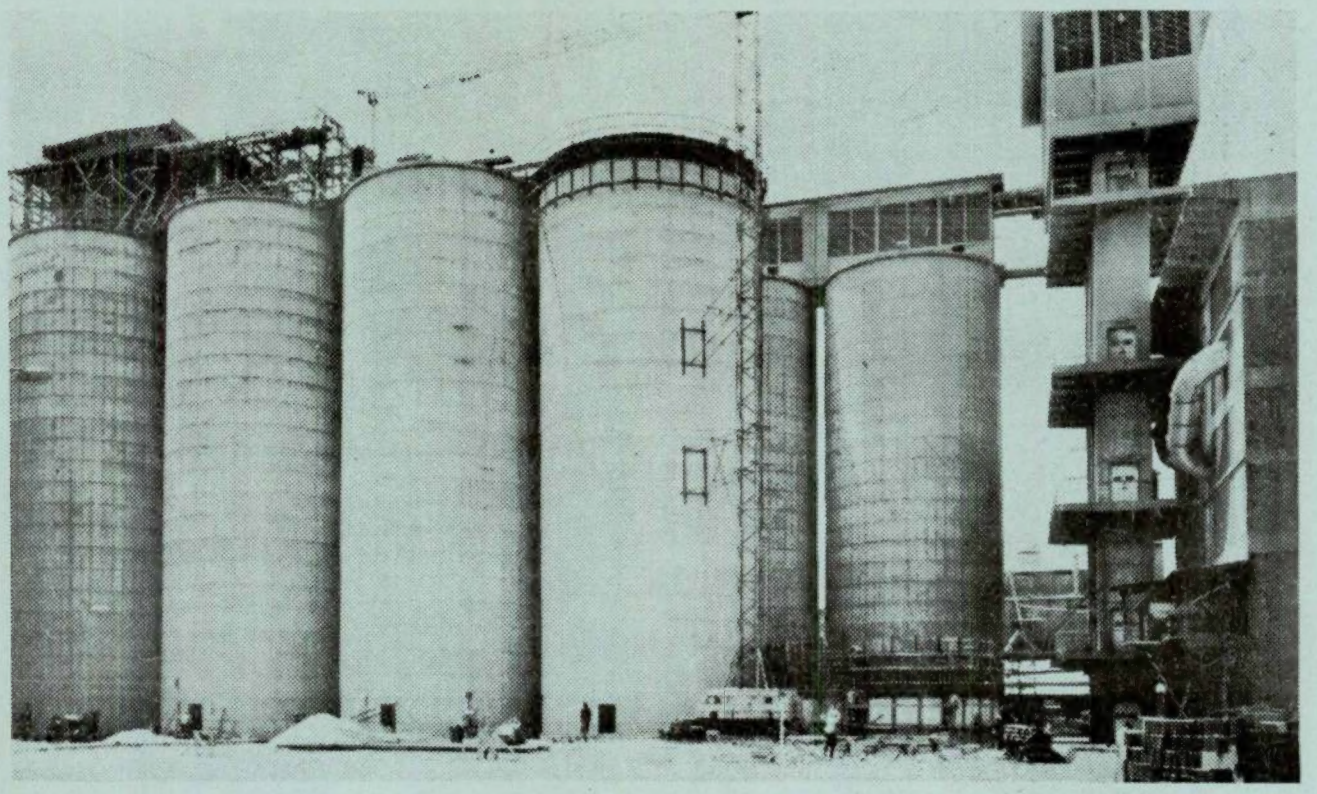
CAPA: Moinho de água — Gravura de Bernard Direx de 1775.

ÍNDICE ALFABÉTICO DOS ANUNCIANTES

	Pág.
A. Johnson & Co (Portugal), Ltd.	XXXII
Aguiar & Melo	XXXI
Auto-Lusitânia	2.ª da capa
Centro Técnico Hospitalar	XXV
Cimento Secil	2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos	VI
Construções Técnicas	XVII
Construções Schréder	XX
Electrotécnicos Reunidos	XII
Electro-Arco, Lda.	II
Empresa de Cimentos de Leiria	V
Empresa Electro Cerâmica	XXIX
Empresa de Produtos Asfálticos	X
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Lda.	3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos	XI
Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações	XVI
Fanafel	XVI
Fundações Franki, Lda.	I
Frapil	XV
Gabinete de Especialização e Coop. Técnica e Económica	XXVI
Guedes & Almeida, Lda.	VIII e XXXIII
Harker Sumner	XXVIII
Heliaço	2.ª da capa
Jayme da Costa, Lda.	XIX
Johann Keller	VII
J. F. Azevedo e Silva	IV
J. Roma	VII
Kristeller & Lichtenstein, Lda.	XXVII
Livros Técnicos	XXVI e XXXIV
MAGUE	XIII
Mendes de Almeida, S. A. R. L.	XXI
Mobil Oil	XVIII
Novobra, Lda.	XXVII
Romar	XXIV
Rotring	XXX
S. K. F. Lda.	XXII
Setal	XXVII
Siemens	4.ª da capa
Sociedade Portuguesa Cavan	VI
Somague	XXXIII
Sondagens e Fundações A. Cavaco	II
Sondagens Ródio, Lda.	VII
Sopecate	II
SEPSA	XIV
Standard Eléctrica	IX
Soc. Ind. Metalúrgica	XXIX
Tudor	XXIII
União Eléctrica Portuguesa	2.ª da capa
Wild Portugal, Lda.	III

espiral

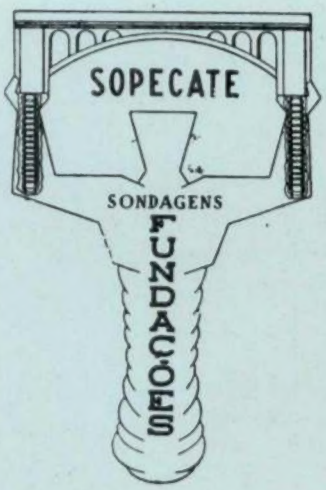
na base da construção moderna: estacas FRANKI, moldadas no solo.



A elevada gama de diâmetros das estacas Franki permite a melhor adaptação a cada problema concreto de fundações, desde a construção mais ligeira até à de grande concentração de cargas muito elevadas. Material permanentemente actualizado e pessoal com especialização constantemente aprofundada garantem a segurança, rapidez e economia das fundações executadas.

FRANKI

Consulte-nos: FUNDAÇÕES FRANKI, LDA. — PORTUGAL



sopecate

sondagens - fundações

ESCRITÓRIO: RUA DO ARSENAL 146 2.º TELEFONES 3 40 10 - 32 02 08 LISBOA

• ESTUDOS, PESQUISAS E CAPTAÇÕES DE ÁGUA

• SONDAGENS

• REBAIXAMENTO DE NÍVEIS AQUÍFEROS

• FUNDAÇÕES

SONDAGENS E FUNDAÇÕES A. CAVACO, LDA.

R. RODRIGO DA FONSECA, 62, R/C ESQ. — LISBOA - 1

TELEF. 56 11 71/72/73

ELECTRO-ARCO, L.DA

ELÉCTRODOS ✦ POSTOS ✦ ACESSÓRIOS

PARA A SOLDADURA ELÉCTRICA

*

MATERIAL APROVADO PELOS

LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING
BUREAU VERITAS
GERMANISCHER LLOYD

—

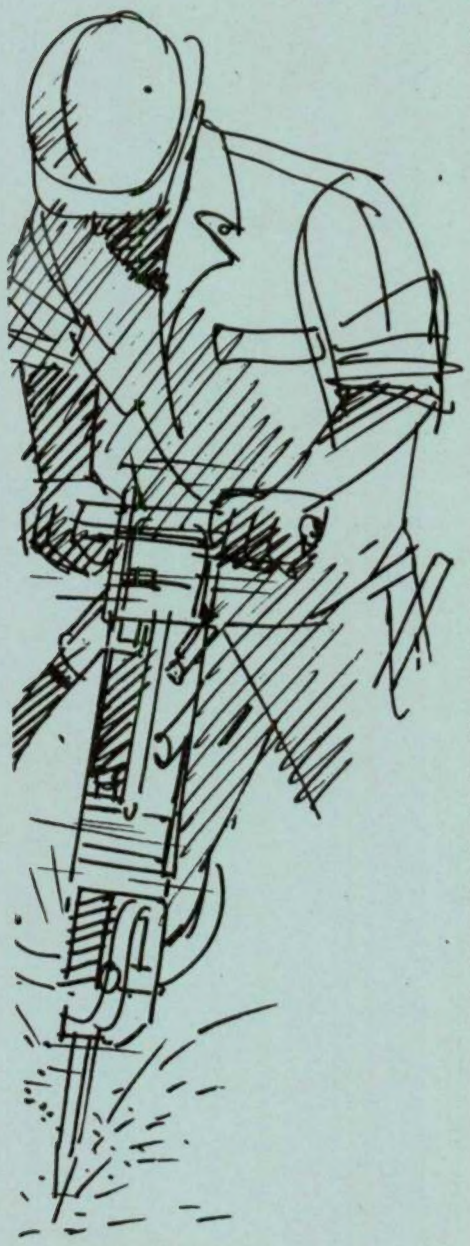
LISBOA
Rua Silva Carvalho, 239
Tels. 68 36 49 - 68 48 93

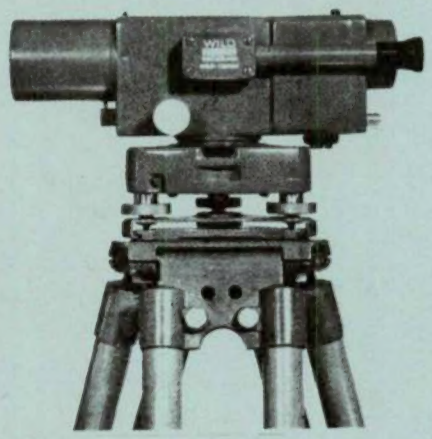
FÁBRICA E LABORATÓRIOS
Venda Nova — Amadora
Tels. 97 06 13 - 97 17 33

PORTO
Rua do Bolhão, 216
Tel. 2 12 77 - 39 44 73

Inabalável

é o nosso novo compensador





no nível automático para engenheiro WILD NA 2

Amortecedor eficiente para vento e vibrações do solo

Suspensão robusta do pêndulo

Além disso o novo

Botão de controlo do funcionamento

Dispensa de bater no tripé ou no instrumento

Acessório sob pedido:
Micrómetro de lâminas de faces plano-paralelas para nivelamentos de grande precisão.
Imagem direita de observação de grande nitidez

Modelo NAK 2 com círculo de vidro

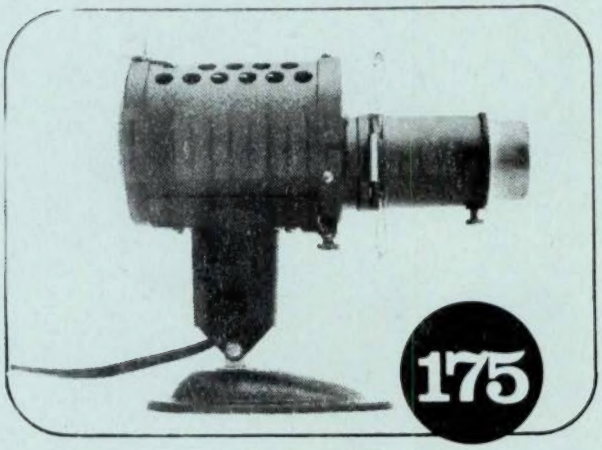
WILD
HEERBRUGG

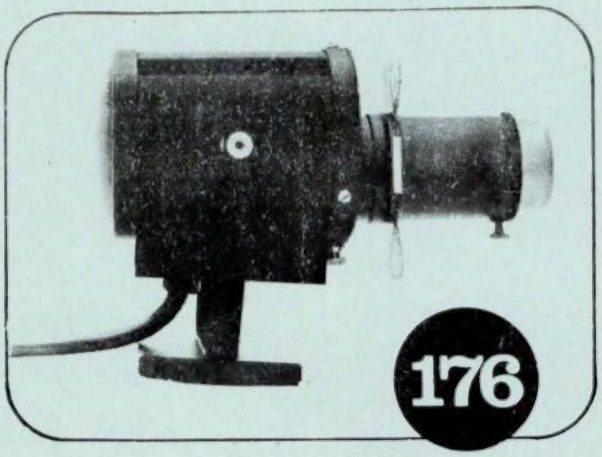
Representantes exclusivos:

WILD PORTUGAL, LDA.

PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8
LISBOA - 2 — TELEFONE 68 91 12

PROJECTORES **LITACADRE**





(BAIXA TENSÃO)

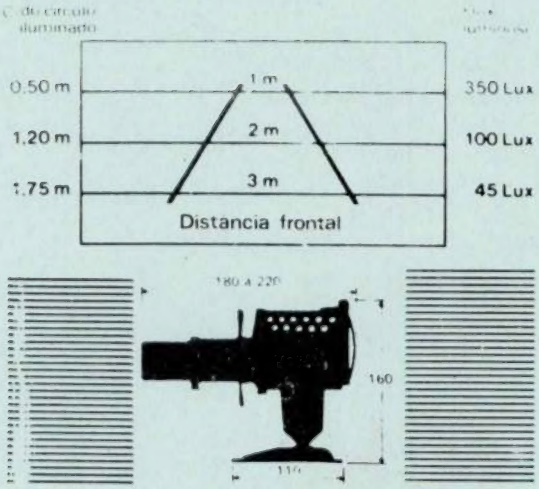
Projectores de preço acessível para iluminação de quadros e obras de arte.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS

• Focagem e regulação optica permitindo iluminar exclusivamente o quadro ou o objecto pertendido, com recorte dos mesmos.

• Acabamento cinzento esmaltado

• Utiliza lampada especial com reflector incorporado de 75 W



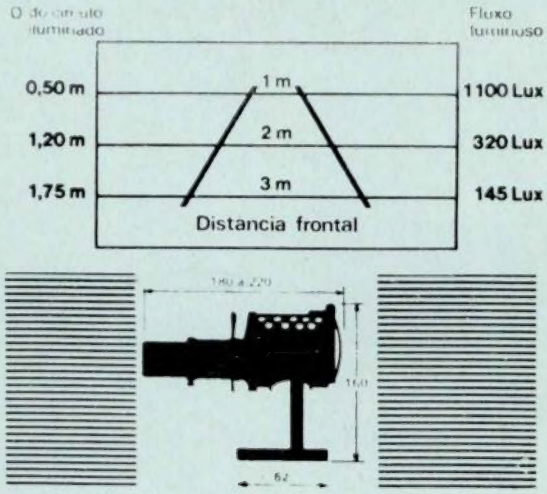
• Acabamento preto

• Utiliza lampada TH 100 W 12 V N° 8027 incluída no preço.

• Baixa tensão - 12 V

• Base magnética

• Transformador separado



Impar

JF

J. F. DE AZEVEDO E SILVA & C.ª, L.DA
Rua S. Francisco de Sales, 2 — Telefone 65 41 65 — Lisboa 1

Empreza de Cimentos de Leiria, S.A.R.L.

BETÃO PRONTO LIZ

3 CENTRAIS EM LISBOA

1 CENTRAL NO PORTO

40 CAMIÕES - BETONEIRAS

CONTROLE LABORATORIAL

CAPACIDADE DE PRODUÇÃO: 230 M3 HORA

ENCOMENDAS:

LISBOA — Tel. 31 30 31/32 - 31 71 21 - 31 70 61 - 31 17 96

PORTO — Tel. 95 13 23/24

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

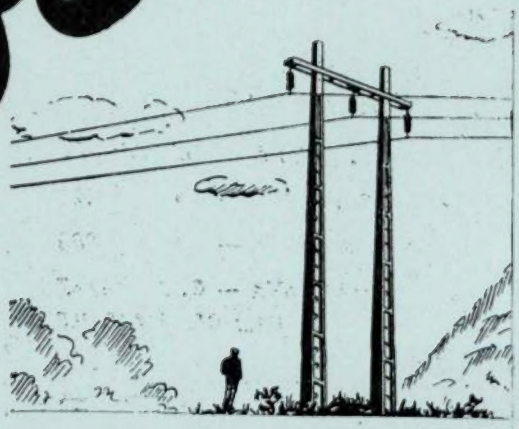
CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 32 73 77 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS
MOSAICOS E AZULEJOS
COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA
MANILHAS PARA ESGOTOS

SOCIEDADE PORTUGUESA
Carvam



RUA D. ESTEFÂNIA, 94-A-LISBOA-1 - TELEF. 47812-50129

• SOLDADURA ELÉCTRICA

• MATERIAL DE PROTECÇÃO

Aparelhagem de medidas eléctricas

+ indicadora
+ reguladora
+ registadora

J. ROMA, L.DA

P. da Figueira, 12, 1.º LISBOA Tel. 865151

P. do Município, 309-6.º S/3 PORTO Tel. 0236732

WABCO

WESTINGHOUSE
AIR BRAKE COMPANY

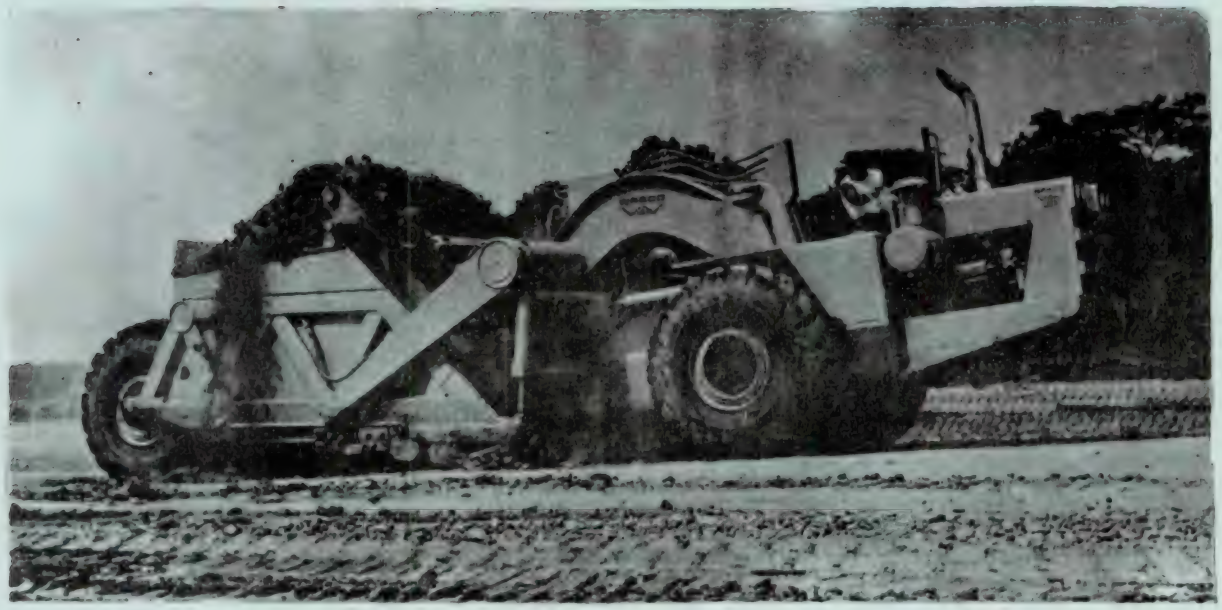
Construction Equipment Division
Peoria (Illinois) U.S.A.

MOTO-SCRAPERS AUTO-CARREGADORES

CAPACIDADE DE 11, 21 E 31 JARDAS CÚBICAS

NÃO NECESSITA DE TRACTOR PARA EMPURRE!
UMA SÓ MÁQUINA... UM SÓ OPERADOR...

Escarifica... Carrega... Transporta... Descarrega... Em terrenos de toda a natureza!



DISTRIBUIDOR EXCLUSIVO

GUEDES & ALMEIDA LDA.

Rua Áurea, 181-2.º — LISBOA-2 — TELEFS. 32 50 80 e 32 78 45

A STANDARD ELÉCTRICA PROJECTA-SE NO MUNDO

Na vanguarda da indústria das Telecomunicações e Electrónica, a Standard Eléctrica, dimensionada ao âmbito mundial, ocupa uma prestigiosa posição nos mercados estrangeiros. A eficiência de uma administração actualizada, a capacidade técnica dos seus engenheiros e o profissionalismo com que todos os empregados encaram as suas responsabilidades, são valores reais e positivos que, de maneira decisiva, contribuem para o engrandecimento da Standard Eléctrica e da indústria nacional. Associada da International Telephone and Telegraph Corporation, um conjunto mundial com cerca de 200 fábricas localizadas em mais de 60 paises, a Standard Eléctrica fabrica numerosos produtos, desde os minúsculos transistores e circuitos integrados às grandes centrais telefónicas de serviço público, que são exportados para mais de 30 paises entre os quais se destacam: Inglaterra, França, Alemanha, Espanha, Suécia, Africa do Sul, Brasil e Estados Unidos da América do Norte.

Standard Eléctrica **ITT**

TG

PARA COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA USE:

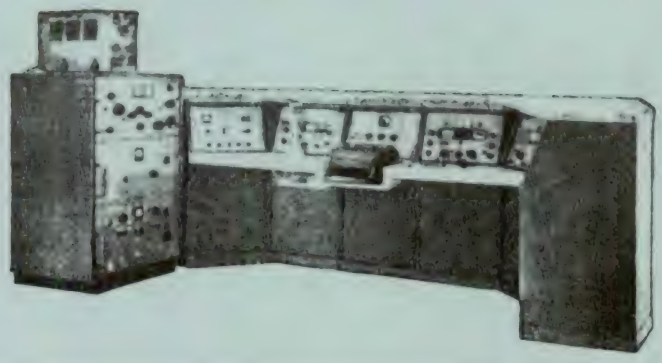
EMPRESA DE PRODUTOS ASFÁLTICOS
IMEPA
IMPERMEABILIZADOR

EMPRESA DE PRODUTOS ASFÁLTICOS
BRANQUEPA
COLAS BRANCAS

Também próprio para: impermeabilizar terrenos, paredes, fundações, etc.

FÁBRICA EM SACAVÉM

RUA FILIPE FOLQUE-10 1º— LISBOA
TELEF. 53 01 56 —TELEG. EPALDA-LISBOA



Comunicações

equipamentos
e sistemas completos

- Cuidadosamente projectados
- Amplamente experimentados
- Completamente integrados

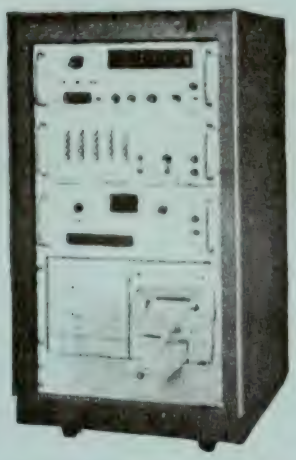
THE TECHNICAL MATERIEL CORPORATION

HEWLETT **PACKARD**

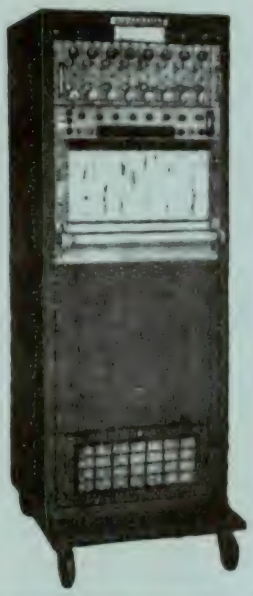
aparelhagem electrónica de medida e registo

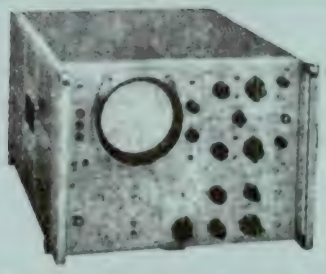
Osciloscópios, Oscilógrafos, Voltímetros electrónicos, Geradores de sinal, Contadores electrónicos, Registadores digitais, Fontes de alimentação

Registador digital Dymec



Registador Sanborn





Osciloscópio HP

Contador Electrónico HP

TELECTRA EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELECTRICOS, S.A.R.L.

CONTROLE INDUSTRIAL

Mas com aparelhagem de Controle Industrial que dá informações precisas sobre as condições do processo em curso e corrige automàticamente os desvios às condições ideais.

O industrial português conquistará o seu lugar no Mercado Mundial se não esquecer que a luta com a concorrência começa a ser ganha durante a produção.

A realização do controle durante o processo, além de dar ao industrial garantias de boa produção, dá ao Comprador a certeza da boa qualidade dos produtos que compra.

FISHER Controls · CROUZET · TAYLOR · SAUTER · ENRAF

ELECTROTÉCNICOS REUNIDOS, LDA.
AV. DUQUE D'AVILA, 66, 3.º TELEF 41161/5

técnica

NÚMERO 396 MARÇO DE 1970 ANO XLVI VOLUME XXXII PUBLICAÇÃO MENSAL

C. D. U. 624.042.7

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE ESTRUTURAS SOB A ACÇÃO DO SISMO DE 28 DE FEVEREIRO DE 1969

Por JOSÉ A. EVANGELISTA MARECOS (*)
MÁRIO C. NEVES CASTANHETA (**)

RESUMO

No dia 28 de Fevereiro de 1969 o País foi assolado por um sismo de magnitude 8 cujo epicentro se situou em 36,2° N e 10,5° W.

Descrevem-se no presente trabalho as observações efectuadas pela missão que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil enviou ao Sul do País, logo após o referido sismo, com vista a recolher elementos sobre o comportamento das estruturas sob a acção de solicitações sísmicas.

SYNOPSIS

On 28th February 1969 Portugal was shaken by an earthquake with magnitude 8 whose epicenter was 36,2° N and 10,5° W.

The present work describes the observation carried out by the LNEC's team sent to the south of the country immediately after that earthquake had occurred, in order to collect data on the behaviour of structures under seismic actions.

1 — INTRODUÇÃO

Após o sismo de 28 de Fevereiro de 1969, iniciou o LNEC a observação do comportamento das construções danificadas, enviando uma missão de estudo à região sul do País, que se considerava ter sido a mais atingida, dada a relativa proximidade do epicentro.

Além disso, a estreita colaboração que foi imediatamente estabelecida com o Serviço Meteorológico Nacional permitiu obter o conhecimento de um esboço preliminar da carta de isosistas do referido sismo, pela qual se depreendia terem sido a região costeira de SW e o Algarve as zonas mais fortemente abaladas pelo sismo.

Reunida toda a informação então disponível, a missão partiu de Lisboa no dia 5 de Março de 1969, equipada com os meios necessários para a colheita de elementos e análise do comportamento das estruturas afectadas pelo sismo.

Na fig. 1 apresenta-se o itinerário seguido o qual totalizou cerca de 1400 km. Na mesma figura representa-se a linha que delimita as zonas de sismicidade mais intensa do País, de acordo com o Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes, e as linhas equidistantes do epicentro.

De maneira geral, em cada uma das localidades visitadas, efectuava-se um prévio reconhecimento dos danos, percorrendo em carro as vias principais da povoação. Em seguida procurava-se obter informações sobre os factos mais importantes ocorridos durante o sismo, através de esclarecimentos prestados pelas corporações de bombeiros ou obtidos em diversos estabeleci-

(*) Engenheiro civil, especialista do Serviço de Edifícios e Pontes, chefe da Divisão de Observação de Obras, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

(**) Engenheiro civil, especialista do Serviço de Edifícios e Pontes, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

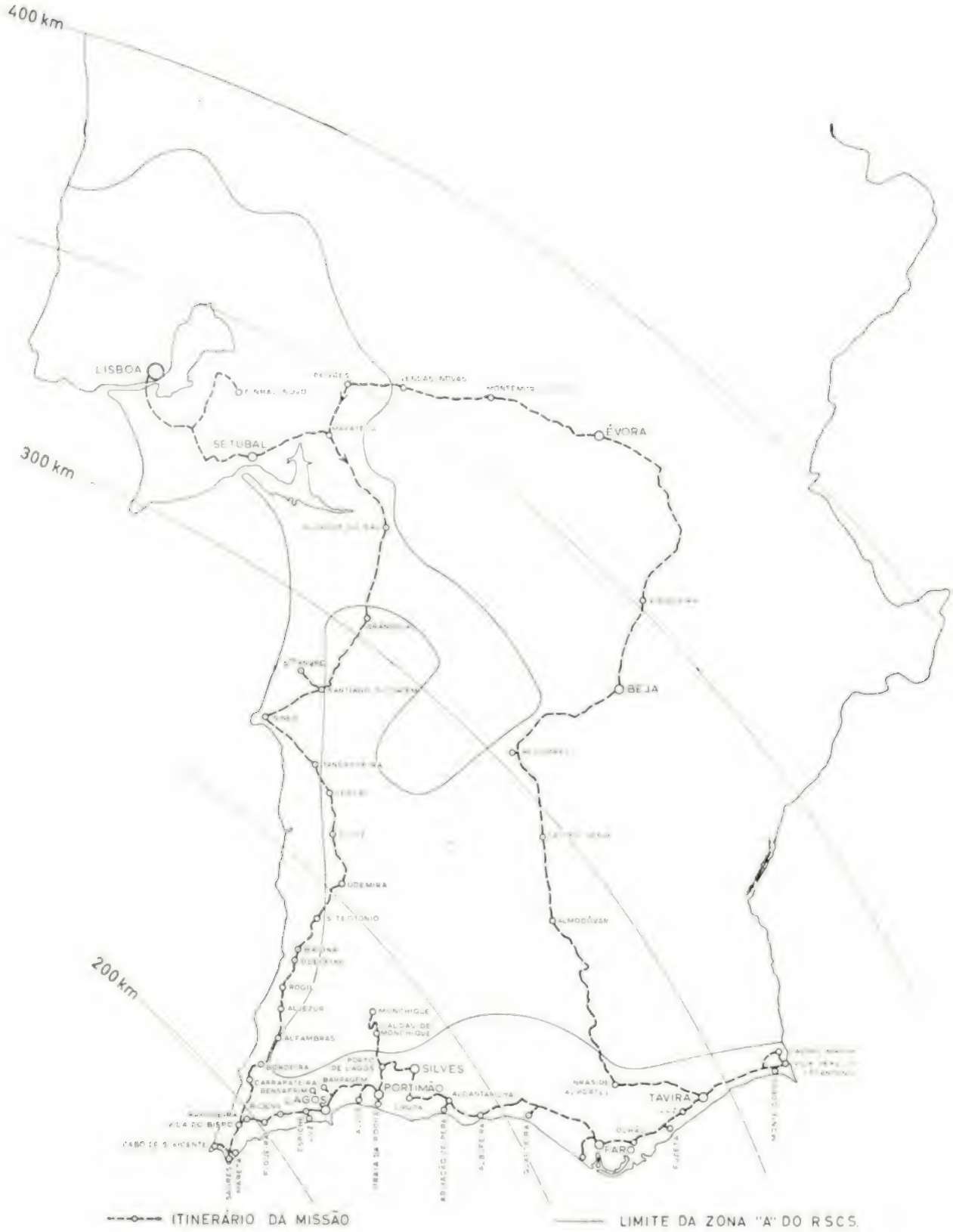


Fig 1 — Itinerário da missão

mentos comerciais tais como cafés, restaurantes, estações de serviço, etc.

Iniciava-se então a visita de inspecção aos locais em que, de acordo com as informações obtidas, se tinham observado maiores danos, procurando-se além disso, e na medida do possível, inspeccionar os edifícios da igreja, do hospital, da escola, o depósito de água e algumas construções mais recentes com estrutura de betão armado.

Um tipo de edifícios considerados «a priori» como sendo mais representativo para termo de comparação entre as intensidades sísmicas atingidas nas várias regiões foi o das escolas primárias. Com efeito, a grande maioria destas construções foi efectuada com base no mesmo projecto tipo, elaborado quando das comemorações do 8.º centenário da fundação de Portugal. Essas escolas, com cerca de duas dezenas de anos, são de alvenaria de pedra cuidada e dispõem sempre, na retaguarda, de um alpendre coberto apoiado em arcos também de alvenaria.

Os depósitos de água elevados e os faróis foram objecto de uma observação sistemática, por se julgar que poderiam ter sido muito afectados pelo sismo.

Os modernos edifícios das instalações hoteleiras do Algarve, com grande porte e elevado valor de investimentos, também foram inspeccionados atentamente, por se considerar que as suas estruturas de betão armado deveriam ter sido objecto de um dimensionamento criterioso e de uma execução cuidada.

2 — COMPORTAMENTO DOS EDIFÍCIOS

No que se segue passa-se a analisar, em síntese, o comportamento dos edifícios representativos dos diversos tipos de construção praticados nas regiões visitadas.

2.1 — Edifícios de grande porte com estruturas de betão armado

O estudo do comportamento destes edifícios constituía um dos objectivos principais da missão porquanto, tratando-se de estruturas importantes necessàriamente cuidadas no projecto e na execução, se esperava colher informações valiosas para ajuizar da eficiência da regulamentação anti-sísmica em vigor, não tanto do ponto de vista da capacidade resistente das estruturas aos sismos, dado que a intensidade do sismo foi relativamente baixa, mas, principalmente na definição de certos pormenores construtivos adequados às construções anti-sísmicas.

Nas visitas efectuadas a modernos hotéis e blocos de apartamentos não foi detectada qualquer anomalia no funcionamento das estruturas, considerando-se o seu comportamento como perfeitamente satisfatório.

Os danos observados, e que nalguns casos foram elevados, podem, por ordem dos custos aproximados das reparações, ser escalonados nos seguintes tipos:

2.1.1 — Fendilhação das paredes de alvenaria ao nível dos pisos inferiores

O tipo de fendilhação mais frequente consistia no aparecimento de fendas horizontais ao nível superior das paredes de enchimento, na zona de ligação dessas paredes à estrutura, zona essa que, em virtude do processo corrente de construção das paredes, apresenta uma ligação muito frágil entre os elementos estruturais e os panos

Fig. 2

de enchimento. Na fig. 2 está exemplificado um destes casos típicos.

Outro tipo de fendilhação que ocorria nas paredes de enchimento destes edifícios, e que denotava uma fase mais avançada do processo

de fendilhação, consistia no aparecimento de fendas diagonais nas divisórias. Na fig. 3 apresenta-se um exemplo significativo.

Fig. 3

2.1.2 — Danos provocados pelo funcionamento das juntas de dilatação

Pela observação do estado das juntas de dilatação destes edifícios, constatou-se sempre o seu funcionamento durante o sismo.

Muito frequentemente um tal funcionamento acarretou certos prejuízos por fissuração ou desprendimento dos revestimentos, já pelo facto de as juntas se encontrarem mal «acusadas», já por se apresentarem, em alguns casos, cobertas com revestimentos de material muito frágil (cantarias, azulejos, evinel, etc.).

Nas figs. 4 e 5 anotam-se alguns casos representativos.

2.1.3 — Deslocamento de telhas

Num dos edifícios do tipo em análise, existente em Sagres, verificou-se o deslizamento de parte das telhas da cobertura, em consequência da rotura de diversas ripas de betão pré-esforçado, sobre as quais se apoiavam as telhas.

Anote-se, no entanto, que o corpo em que se observou este escorregamento tinha a linha de cumeeira orientada, aproximadamente, na direcção norte-sul e que, num outro corpo com orientação sensìvelmente normal a este, não se verificou um tal deslizamento.

Fig. 4

Nas figs. 6 e 7 apresentam-se, respectivamente, um aspecto exterior e uma vista do interior da cobertura.

Fig. 5

2.1.4 — Quebra de vidros

Embora se tenham registado diversas roturas em painéis de vidro de grandes dimensões, a

frequência deste tipo de estragos não se poderá considerar elevada, o que se deverá atribuir, em grande parte, ao processo correntemente utilizado

Fig. 6

na montagem destes painéis que deixa diversas folgas elásticas entre os bordos dos vidros e os caixilhos que os enquadram.

Fig. 7

No entanto, em alguns dos hotéis visitados no Algarve, o custo da substituição dos grandes painéis de vidro danificados pelo sismo atinge verbas elevadas, não tanto pelo número de vidros partidos mas, principalmente, pelo elevado custo unitário destes elementos de construção.

2.1.5 — Fendilhação e rotura de estafes

Este género de estragos registou-se com bastante frequência devido à fragilidade deste tipo de acabamento, mesmo em edifícios onde são reduzidos os outros tipos de estragos atrás referidos.

2.1 6 — Fendilhação em chaminés, em painéis frágeis não devidamente enquadrados e queda de elementos decorativos

Exemplos deste tipo de estragos constam das figs. 5, 8 e 6.

Fig. 8

Na fig. 8 pode observar-se uma vista dos estragos causados numa cobertura pela queda de um elemento decorativo da chaminé. Na fig. 5, já anteriormente referida, pode observar-se pela posição relativa dos bordos da junta de dilatação um pormenor do desaprumo de um pano de alvenaria de tijolo que servia de guarda a um terraço (v. fig. 4) e, na fig. 9, um aspecto dos trabalhos de apeamento de paredes de tijolo que ficaram muito fendilhadas em consequência do sismo.

Fig. 9

2.1.7 — Prejuizos diversos

Além dos estragos sofridos pela construção, também se registaram danos no equipamento de alguns hotéis do Algarve. Os prejuízos em garrafeiras, serviços de louça e de vidro elevaram-se, nalguns casos, a várias dezenas de contos.

Também num dos hotéis visitados fomos informados de que, após o sismo, os elevadores ficaram fora de serviço devido ao empenamento das respectivas guias.

2.2 — Outros edifícios com estrutura resistente de betão armado

Neste tipo de edifícios incluem-se, além de um certo número de moradias, a grande maioria de prédios de rendimento de contrução mais ou menos recente que têm normalmente três ou quatro pisos, mas que atingem, com certa frequência, seis ou oito pisos, principalmente nos centros das localidades mais importantes tais como Faro, Portimão, Setúbal e em várias estâncias de veraneio algarvias.

Embora em alguns destes edifícios, nomeadamente nos mais elevados, a estrutura se apresente bastante ligeira, não foi detectada qualquer deficiência de funcionamento estrutural. As juntas de separação entre prédios contíguos apresentavam sinais de terem funcionado, mas os efeitos provocados por um tal funcionamento foram muito menos acentuados do que nos edifícios de grande porte anteriormente referidos. Mesmo quando no primeiro piso se encontravam instalados estabelecimentos comerciais, não se anotaram roturas frequentes nos vidros das montras em fendilhação sensível nas paredes.

A existência das caixas de escada, das paredes de empena e de eventuais divisórias resistentes é susceptível de conferir a estes edifícios uma apreciável capacidade de resistência às solicitações horizontais, quando actuadas por sismos de intensidade idêntica ao de Fevereiro de 1969.

Anote-se no entanto que, em algumas destas estruturas ainda em fase de construção, se observaram certos vícios e deficiências técnicas de execução que estão em desacordo com a regulamentação vigente e, bem assim, com as boas regras construtivas. Põem-se algumas reservas quanto à capacidade de resistência de tais estruturas, principalmente quando sujeitas a sismos de elevada intensidade.

Edifícios de dois pisos com estrutura resistente de betão armado e panos de enchimento de tijolo, constituindo prédios de rendimento ou moradias, encontram-se em elevado número em muitas

Fig. 10

localidades, e constituem um tipo de construção correntemente praticado na última dezena de anos. O seu funcionamento sob a acção do sismo foi em geral, perfeitamente satisfatório, notando-se, com pouca frequência, uma ligeira fendilhação

em alguns panos de tijolo, muito embora algumas destas construções se situassem em localidades em que a intensidade sísmica foi mais elevada como, por exemplo, Sagres e Vila do Bispo.

Casos porém há, em que os estragos nas alvenarias de tijolo são mais acentuados, anotando-se, como exemplo mais flagrante, uma moradia situada na avenida marginal de Armação de Pêra, embora se deva atribuir grande parte dos estragos a deficiências de fundações (fig. 10).

Em relação à fendilhação que ocorria ocasionalmente neste tipo de edifícios, voltam a notar-se as duas tendências anteriormente anotadas, isto é, fendas periféricas na ligação dos panos de tijolo à estrutura e fendas diagonais nas alvenarias de enchimento.

De todas as estruturas de betão armado observadas só houve oportunidade de estudar em pormenor a da Cerâmica de Pinhal Novo em que se verificou, devido ao sismo, o colapso de uma nave e a do posto da Polícia de Viação e Trânsito de Lagos em que se notou certo desaprumo devido à fendilhação na base do pilar de suporte da cobertura.

Fig. 11

No caso da Cerâmica de Pinhal Novo (figs. 11, 12 e 13) a estrutura da nave que caiu tinha as dimensões em planta de 72 × 16,3 m e era constituída por pilares e vigas de betão armado que suportavam a cobertura de abóbada em tijolo cerâmico. O colapso da nave foi devido a uma deficiente armadura dos pilares, que não possuíam a necessária capacidade resistente para suportar

Fig. 12

os esforços horizontais devidos aos sismos, mesmo que estes tivessem uma intensidade relativamente baixa como foi o caso do sismo de 28 de Fevereiro de 1969.

Fig. 13

No caso do posto da P.V.T. de Lagos (fig. 14) o desaprumo da cobertura de betão armado foi devido à fendilhação que se observou na base

do pilar, justamente numa zona correspondente a uma junta de betonagem mal executada e com alguns chochos. Esta estrutura também foi estudada em pormenor tendo-se concluído que, efectivamente, a sua capacidade resistente a solicitações sísmicas era muito reduzida.

Fig. 14

2.3 — Edifícios de alvenaria com alguns elementos de betão armado

Nas construções deste tipo incluem-se um elevado número de moradias, prédios de rendimento e diversos edifícios públicos, construídos com paredes resistentes exteriores de boa alvenaria de pedra, paredes interiores de tijolo, sendo algumas resistentes, e que dispõem de lintéis, cintas e pavimentos de betão armado. Estas estruturas têm normalmente uma idade compreendida entre 10 e 30 anos, e encontram-se em geral bem conservadas.

Este tipo de construções teve também, em geral, um bom comportamento sob a acção do sismo, notando-se apenas o aparecimento eventual de pequenas fendas nas alvenarias, localizadas, por vezes, na zona de ligação a lintéis de betão armado.

No caso de haver juntas de dilatação separando corpos distintos do edifício, os estragos acusavam o funcionamento das juntas, devendo notar-se que tais estragos eram, em geral, menos acentuados que nos edifícios com estruturas de betão armado, principalmente nos de grande porte, como se verificou no Palácio da Justiça de Santiago do Cacém.

No hospital de Vila do Bispo, edifício deste tipo e de construção recente, não se anotaram danos sensíveis, embora esta povoação, como adiante se referirá, tivesse sido fortemente afectada pelo sismo.

Note-se ainda que em algumas destas construções que já se encontravam com várias fendas antes do sismo, tais fendas progrediram sensìvelmente, como se verificou na Estalagem do Navegador (Casa dos Pescadores) em Sagres, e, segundo nos informaram, na Câmara de Vila do Bispo, embora, neste último caso, a progressão da fendilhação tivesse sido menos acentuada.

No edifício da Casa do Povo de Odemira, construído em 1955, apenas se observaram algumas fissuras no tecto da grande sala de festas, a queda de uma porção da sanca de remate desse tecto e, nas paredes, pequenas fissuras algumas das quais já existentes antes do sismo.

Fig. 15

Os celeiros da F. N. P. T. de Baiona e de Cercal (celeiro n.º 6), o primeiro coberto com abóbada de betão e o segundo com asnas e lajes de betão prefabricadas, revelam um comportamento perfeitamente satisfatório.

Como caso típico de uma construção de alvenaria de tijolo mal conservada, com cobertura

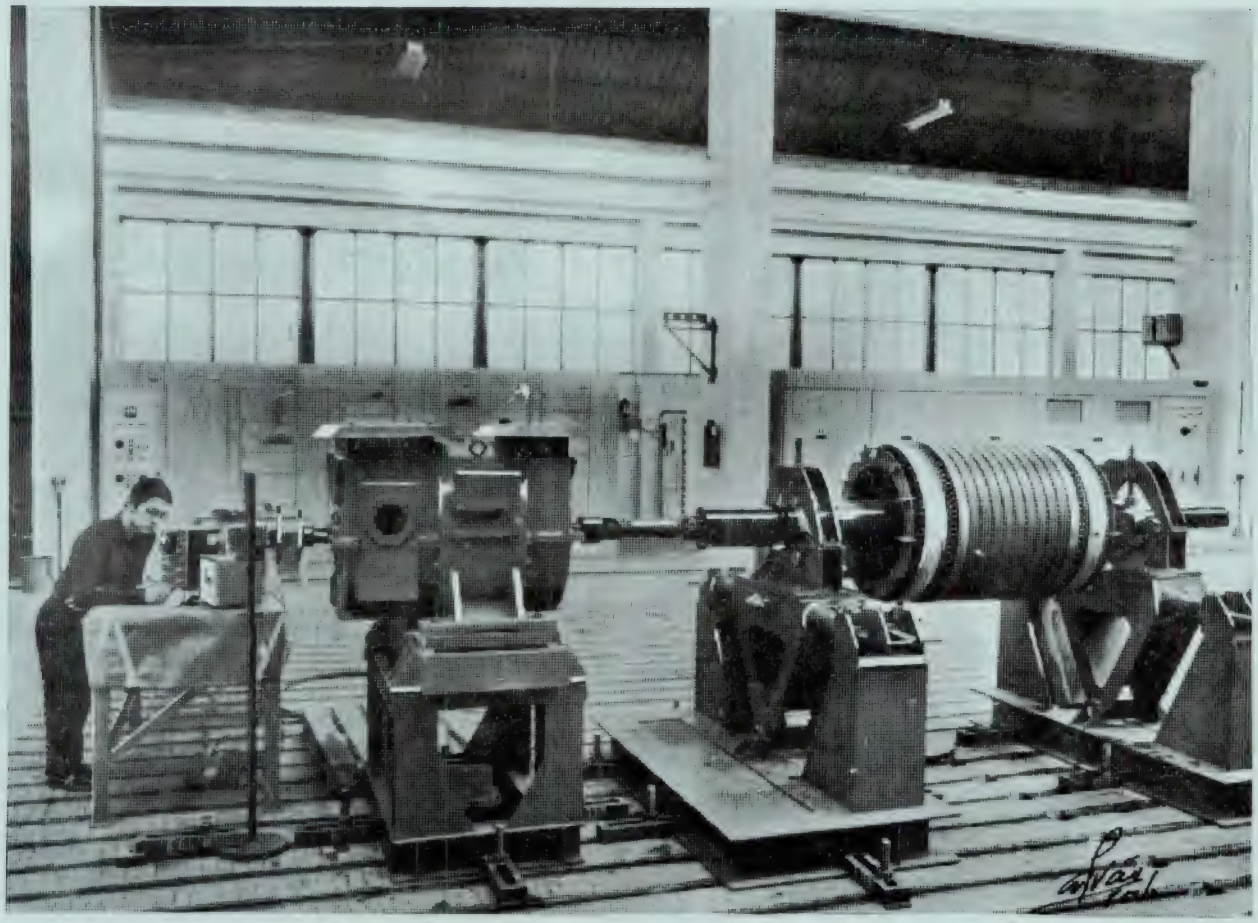
MAGUE

Ponte rolante eléctrica de 33 t/15,5 t x 16,85 m em serviço nas instalações da Celulose Billeruds, na Leirosa.

PONTES ROLANTES, GUINDASTES E APAR. DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS	*Projecto e fabrico*
TURBINAS HIDRÁULICAS	*Fabrico segundo licença de A. C. M. de Vevey, S. A.*
TURBINAS A VAPOR	*Fabrico segundo licença de Brown Boveri, Cie.*
CALDEIRAS A VAPOR	*Projecto e fabrico segundo licença de Foster Wheeler, Co.*
EQUIPAMENTOS E INSTALAÇÕES INDUSTRIAIS	

CONSTRUÇÕES METALOMECANICAS **MAGUE** S.A.R.L

ALVERCA DO RIBATEJO — PORTUGAL



SEPSA - DIVISAO DE CONSTRUCOES ELECTRICAS
Equilibragem Dinâmica de 1 rotor de um motor de 3 500 C. V.

- ALTERNADORES (de potência superior a 2000 kVA), COMPENSADORES SÍNCRONOS, MOTORES DE GRANDE POTÊNCIA (fabricação parcial).
- EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIAS QUÍMICAS E PETROQUÍMICAS
  Tubagens, tremonhas, reactores, permutadores, cisternas, etc.
- EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIAS PETROLÍFERAS
  Torres, balões, permutadores, filtros, aerorefrigerantes, tubagens, etc.
- EQUIPAMENTOS PARA INDÚSTRIAS CIMENTEIRAS
  Fornos, moinhos, separadores, arrefecedores, etc.
- RESERVATÓRIOS
  De tecto fixo e tecto flutuante, de alta e baixa pressão. Para gases liquefeitos. Gasómetros
- EQUIPAMENTOS DE MANUTENÇÃO E TRANSPORTE
  Elevadores de alcatruzes, elevadores de palhetas, transportadores de tela metálica e de borracha, contentores, etc.
- ESTRUTURAS METÁLICAS
  Pontes, cimbres, coberturas, pisos, edifícios industriais, etc.
- MONTAGENS PESADAS

SEPSA SOCIEDADE DE CONSTRUÇÕES ELECTRO-MECÂNICAS, S.A.R.L.
APARTADO 8 • LEÇA do BAILIO • TELEX SEPSA P 2616

em laje de betão armado, é o do corpo da escada ao nível da cobertura de um prédio existente em S. Luís de que se apresenta na fig. 15 um aspecto dos estragos.

Em Sagres, nos edifícios residenciais do pessoal da estação LORAN-NATO, notaram-se algumas fendas nas moradias construídas há cerca de 10 anos, a maioria das quais já existentes antes do sismo. Nos edifícios idênticos construídos há cerca de 6 anos não se observou qualquer fendilhação sensível.

Alguns edifícios de boa alvenaria de pedra, nos quais se admite existirem diversos elementos de betão armado, e que apresentaram um comportamento bastante bom sob a acção do sismo, são os das Pousadas de Sagres e de Santiago do Cacém e o do Palácio da Justiça de Lagos.

Na Escola Técnica de Silves, o beiral do telhado da empena do corpo norte, que se encontrava suspenso de uma eventual cinta de betão, abateu durante o sismo (fig. 16).

Fig. 16

Note-se que na zona do edifício referido, essa cinta ou lintel suspenso está separada da parede por uma fenda horizontal. Convém registar ainda que uma viga de betão armado de suporte do alpendre do recreio da mesma escola se encontra fendilhada na junta de dilatação, como se pode observar na fig. 17. A fendilhação neste tipo de juntas de dilatação ocorre com certa frequência, podendo comprometer, eventualmente, a segurança da estrutura e deverá atribuir-se ou à existência de certa continuidade na superfície da junta ou ao elevado valor do coeficiente de atrito nas superfícies em contacto, do que resulta

Fig. 17

o aparecimento de esforços não previstos, em geral, no dimensionamento.

Uma categoria de edifícios, que se enquadra no tipo de construção que se vem analisando, é constituída pela grande maioria das escolas primárias existentes nas localidades visitadas e que foram sistemàticamente observadas. Com efeito, um grande número destas escolas obedece a um projecto idêntico («Plano dos Centenários») e foi construído a partir de 1940. São edifícios de alvenaria de pedra cuidada com lintéis e cintas de betão armado, tendo mais frequentemente um só piso e, na parte posterior, um alpendre para recreio, que se apoia em arcos de alvenaria. O estado de conservação destas construções é, normalmente, satisfatório.

Em face da uniformidade de características deste tipo de edifícios esperava-se obter, através duma análise comparativa dos danos verificados, elementos que permitissem ajuizar das diferentes intensidades do sismo nas várias regiões. Um tal objectivo não foi porém concretizado, devido à boa constituição dos elementos resistentes e à intensidade relativamente baixa dos esforços originados pelo sismo.

De um modo geral, a grande maioria destas escolas não apresentava fendilhação sensível devido ao sismo, notando-se, normalmente, a existência de pequenas fendas ou de vestígios de reparações de fendas antigas na nascença, rins e fecho dos arcos de alvenaria do alpendre do recreio. Uma ou outra escola que revelava não ter sofrido obras de reparação nos últimos anos apresentava a chaminé fendida.

De entre as escolas visitadas tem particular interesse a comparação entre os estragos verificados nas escolas da Carrapateira e da Bordeira, localidades situadas numa das zonas mais afectadas pelo sismo. As povoações referidas distam entre si apenas 4 km, localizando-se a primeira a cerca de 11 km de Vila do Bispo.

A escola de Carrapateira, localizada numa elevação de xistos sobranceira à estrada n.º 268,

Fig. 18

Fig. 20

Fig. 19

Fig. 21

encontra-se bem fundada e não apresenta estragos provocados pelo sismo; o seu estado de conservação é satisfatório, notando-se, nos arcos do alpendre, sinais de antigos trabalhos de conservação (figs. 18 e 19).

A escola de Bordeira, que se situa num vale aluvionar junto do leito de uma ribeira que passa próximo da estrada nacional n.º 268, encontra-se bastante danificada, com os arcos de suporte do alpendre fendidos em diversas secções (figs. 20 e 21), grelhagem das paredes dos sanitários fracturada, além de se ter verificado a queda do frontão existente sobre a entrada principal.

A diferença de comportamento entre estes dois edifícios, estruturalmente semelhantes e situados relativamente próximos, é flagrante e só se deverá justificar pelo facto de a solicitação sísmica ter sido muito mais intensa na escola da Bordeira fundada em terreno de aluvião.

Este facto, aliado não só ao que se observou entre a povoação de Aljezur e a Igreja Nova da mesma localidade (distante cerca de 1 km), mas também entre Santiago do Cacém e Santo André (distante cerca de 7 km), acentua bem a importância da consideração da naturação do terreno na fundação no valor dos coeficientes sísmicos com que se deverão dimensionar as estruturas.

2.4 — Edifícios de alvenaria

Este tipo de edifícios engloba grande número de casas de habitação e instalações de serviços públicos com pavimentos de madeira e com idade, em geral, superior a 40 anos, igrejas construídas muito frequentemente há cerca de dois séculos, bem como diversos hospitais instalados, por vezes, em antigos edifícios religiosos.

Em grande parte das igrejas e hospitais deste tipo de construção que foram visitados, estão bem patentes os danos causados, durante mais de um século, por sucessivos temporais e sismos. Em alguns destes edifícios existiam tirantes de travamento das paredes, montados em data posterior à construção mas, frequentemente, encontravam-se fendas na zona de ligação entre paredes ortogonais, as quais têm sido sistemàticamente preenchidas com argamassa sem qualquer outro tipo de precaução. Daí resulta uma deterioração progressiva da estrutura, dada a ineficácia das reparações praticadas correntemente, notando-se, com certa frequencia, falta de verticalidade nas paredes de várias igrejas.

Os edifícios das igrejas englobados neste tipo de construção são exemplos patentes de construções que oferecem sério risco sísmico, não só pela idade e conservação precária, mas também pela resolução arquitectónica que normalmente apresentam. Frequentemente as coberturas são em abóbada de alvenaria de pedra ou tijolo, sem que os seus impulsos estejam convenientemente absorvidos, do que resultam condições precárias de estabilidade que se vão acentuando com o tempo, mercê da deficiência das reparações normalmente executadas.

Fig. 22

De forma quase sistemática as paredes de fachada e de tardoz destes edifícios encontravam-se separadas das coberturas, notando-se também fendas longitudinais nas zonas de ligação das paredes laterais à cobertura e na própria cobertura, quer esta seja em abóbada de alvenaria ou de telhado clássico com forro revestido interiormente com fasquiado estucado. Exemplos deste tipo de estragos estão representados na fig. 22 obtida na igreja de Portimão anexa ao Hospital da Misericórdia, e na fig. 23 da Igreja de Luz de Tavira em que se observou, além disso, que várias colunas da nave central estavam desaprumadas.

As torres também se encontram bastante fendidas, apresentando algumas delas risco iminente

de ruína. Nas figs. 24 (Vila do Bispo), 25 (Igreja Nova de Aljezur) e 26 (pequena igreja de Bordeira situada na zona aluvionar próxima da escola

Fig. 23

primária anteriormente referida), apresentam-se alguns aspectos da fendilhação e queda de elementos decorativos das torres.

Fig. 24

De entre as igrejas mais afectadas pelo sismo, merece especial referência o caso da Igreja Nova de Aljezur, construção situada a cerca de 1 km da vila do mesmo nome sobre uma pequena elevação que sobressai ligeiramente do vale de Aljezur. É constituída por paredes de alvenaria de pedra e cal, com cobertura estruturada em arcos e abóbadas de alvenaria que se apoiam nas paredes exteriores e em colunas interiores de alvenaria. O edifício está francamente em ruína, apresentando os arcos e abóbadas com roturas graves e com desaprumos de certas colunas interiores os quais atingem cerca de 15 cm (figs. 27 e 28). A torre (fig. 25) apresenta-se também muito fendilhada, e separada em certas zonas do corpo do edifício.

Fig. 25

A comparação entre o comportamento desta igreja e o das habitações da vila próxima realça, uma vez mais, a influência da natureza geológica do terreno de fundação na intensidade das solicitações sísmicas. Assim, enquanto se consideram bastante graves os estragos verificados na igreja, e em alguns edifícios vizinhos situados em zona aluvionar, constata-se que na povoação de Aljezur, que se desenvolve numa encosta de rocha xistosa, os estragos são bastante reduzidos, limitando-se, em geral, ao aparecimento de pequenas fendas em edifícios antigos de alvenaria, por vezes com 2 pisos.

Outras igrejas também bastante afectadas pelo sismo foram as de Tavira, em que ruíu uma parte da cobertura do transepto além da fendilhação

da abóbada (fig. 29), e as pequenas igrejas dos Protestantes em Sines (figs. 30 e 31) e da Bordeira, já anteriormente referida.

Fig. 26

Anote-se ainda que na igreja de Castro Verde, edifício com apreciável volume de boa alvenaria de pedra, em que as paredes mestras atingem

Fig. 27

cerca de 3,0 m de espessura, e que se encontra em bom estado de conservação, não são aparentes quaisquer danos causados pelo sismo.

Fig. 28

No que se refere aos hospitais cuja estruturação se enquadra perfeitamente no tipo de construção que se vem considerando, citam-se como mais significativos o de Portimão e, muito especialmente, os de Sines e de Castro Marim.

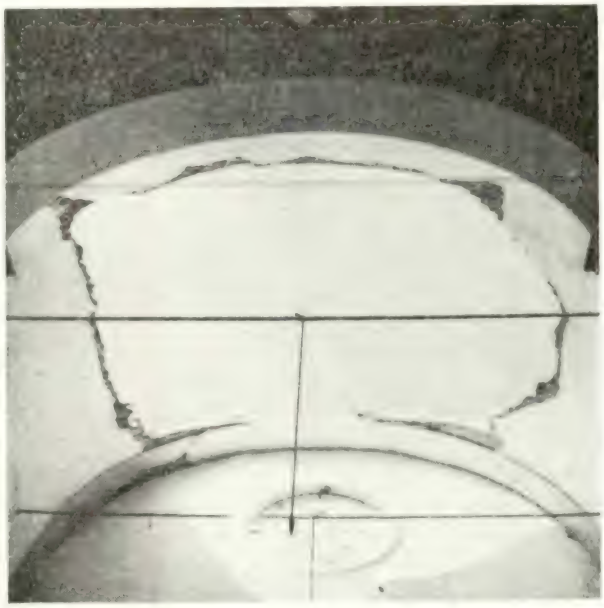


Fig. 29

O Hospital da Misericórdia em Portimão, instalado num antigo convento, patenteava um mau estado de conservação, apresentando diversas fendas anteriores ao sismo, o qual provocou

o aparecimento de novas fendas e uma certa progressão das já existentes.

O hospital de Sines, que sofreu grandes estragos, apresenta uma estruturação de cunho «pombalino» em que as paredes de alvenaria se encontram enquadradas nas características «gaiolas» de madeira. Neste edifício, durante o sismo, parte dos panos de alvenaria desprenderam-se dos quadros envolventes (figs. 32 e 33), acontecendo que um tijolo, na queda, perfurou o tecto de madeira de uma das enfermarias atingindo mortalmente um dos ocupantes. Note-se como particularidade plena de interesse, e que traduz bem o acentuado espírito da nossa técnica de construção anti-sísmica de há duzentos anos, que os quadros de madeira não eram normalmente preenchidos com alvenaria de pedra mas sim com um material muito mais leve: alvenaria de pran-

Fig. 30

Fig. 32

Fig 31

Fig. 33

chas de cortiça (fig. 33). Então, como agora, essa técnica foi desrespeitada nalguns painéis, o que deu origem a que um tijolo provocasse uma morte.

Fig. 34

No caso do hospital de Castro Marim, tratava-se de uma estrutura de má alvenaria de pedra

Fig. 35

ou adobes em que, por vezes a argamassa de ligação era substituída por terra. O mau estado de conservação do edifício era por demais evidente (fig. 34, arbusto com um tronco de 8 cm de diâmetro enraizado numa fenda da abóbada) e durante o sismo ruíu quase completamente.

Fig. 36

Nas figs. 35, 36 e 37 apresentam-se alguns aspectos dos estragos verificados.

Fig. 37

Os tipos de instalações hospitalares acima referidos não oferecem quaisquer garantias de resistência anti-sísmica, o que é tanto mais grave quanto é certo que, devido ao carácter dos ser-

viços que prestam, lhes são exigidas características de resistência adicionais. Tais exigências encontram-se bem explicitadas no R.S.E.P. actualmente em vigor.

Fig. 38

Nas construções deste tipo deverão também referir-se os edifícios dos faróis de Sines,

Fig. 39

S. Vicente, Ponta da Piedade e Vila Real de Santo António.

Com efeito nestas construções, que, como é óbvio, se situam em locais muito expostos ao vento e atmosfera salina, nota-se um grande cuidado na sua conservação. São de alvenaria de pedra de boa qualidade, com paredes por vezes muito espessas, como acontece em S. Vicente, com pavimentos e coberturas apoiadas em arcos e abóbadas ou constituídas por abobadilhas de tijolo apoiadas em perfis metálicos.

Nas torres destes edifícios não foi detectada qualquer fendilhação.

Nalgumas instalações anexas aos edifícios dos faróis, destinadas à habitação do pessoal de serviço, notam-se algumas fendas na ligação dos pavimentos às paredes e em algumas abóbadas, como acontece em S. Vicente, ou na ligação da torre ao restante edifício em que se integra como

Fig. 40

acontece no pequeno farol da Ponta da Piedade. Nas paredes exteriores também se observam algumas fendas.

Ainda dentro do tipo de construção em alvenaria verificaram-se estragos consideráveis em muitos outros edifícios. Tais estragos deverão atribuir-se, em grande parte, à má qualidade da alvenaria, ao precário estado de conservação e à falta de travamento entre paredes resistentes e entre estas e as divisórias. Frequentemente a ligação entre paredes ortogonais é feita por simples encosto sem qualquer interligação dos elementos entre si, do que resultam muitas vezes

FRAPIL

CONSTRUÇÕES E MONTAGENS ELÉCTRICAS

SARL

máquinas de soldadura eléctrica

transformadores

rectificadores de silício

processos semiautomáticos

licença

OERLIKON

SEDE E INSTALAÇÕES FABRIS

CAIS DE SÃO ROQUE
APARTADO 20
TELEFONE 23071/2
AVEIRO

DELEGAÇÃO NO SUL

RUA CASTILHO
38, r/c.-dt.
TELEFONE 52528
LISBOA-1

042.72:1658

ESTAMPARIAS TINTURARIAS LAVANDARIAS

PARA OS VOSSOS TECIDOS TÉCNICOS:
TRANSPORTADORES, MANCHONS, LAPPING, WOLFRIES,
FLANELAS, CANEVAS, ETC.,

EM FIBRAS NATURAIS OU SINTÉTICAS

CONSULTEM:

FANAFEL

FÁBRICA NACIONAL DE FELTROS INDUSTRIAIS
SOCIEDADE LIMITADA

APART.: 9
TELEFS : 52091 PBX
TELEG.: FELTROS

OVAR
PORTUGAL

ESCRITÓRIO E FÁBRICA
ESTRADA DE S. JOÃO

Empresa Ultramarina de Sondagens e Fundações, L.da

(SONDADORA)

SONDAGENS geológicas e geotécnicas — CAPTAÇÕES de águas subterrâneas — REBAIXAMENTOS do nível freático — CONSOLIDAÇÕES E ESTABILIZAÇÃO do solo — INJECÇÕES DE CIMENTO e outros produtos — INFRAESIRUTURAS de barragens, túneis e pontes — FUNDAÇÕES de todos os tipos

Única Empresa da especialidade com sede no Ultramar Português

DELEGAÇÃO - LISBOA
R.S.Pedro de Alcântara, 1
Tel. 32 46 93 e 21 32 56

SEDE - LUANDA
Rua Serpa Pinto, 60
C.P.2178 - Tel.4226

MOÇAMBIQUE
L.Marques - C.P.982 - Tel.741121
Beira - C.P. 1002 - Tel. 71497

fendas nos cunhais, com o consequente desaprumo das paredes mestras.

Nas figs. 38 e 39 (edifício em Sines), 40 (edifício em Vila do Bispo), 41 (edifício em Faro) anotam-se alguns exemplos típicos.

Fig. 41

2.5 — Construções em taipa e adobes

Uma grande percentagem das construções rurais existentes nas regiões visitadas pertencia a esta categoria, encontrando-se também casas de um ou dois pisos, armazéns e construções diversas de taipa ou adobes em vários aglomerados urbanos.

De um modo geral as regiões visitadas não dispõem de boa pedra para alvenaria, sendo o xisto e o grés as pedras mais características de algumas regiões do Alentejo e Algarve. Além disso, as argilas também não ocorrem com frequência, notando-se uma quase ausência de fábricas de cerâmica de barro vermelho.

Tem-se assim que, não abundando a pedra nem o tijolo, o tipo de construção mais praticado é o de taipa ou adobes, em virtude da economia que apresenta nas construções rurais da região. Mesmo em localidades importantes como Sines, Lagos, Portimão e Faro emcontram-se muitas construções deste tipo, quer antigas quer recentes.

Por vezes, nas regiões onde ocorrem com mais frequência o xisto ou o grés encontram-se também construções dum tipo mais evoluído, constituído por uma espécie de alvenaria de pedra em que a argamassa é substituída por terra argilosa.

As construções de taipa ou adobes têm, normalmente, um só piso térreo, não dispondo as paredes de qualquer travamento, com divisórias constituídas por tabiques de caniços revestidos com argamassa de cal, e tendo uma cobertura de telhas apoiadas sobre estrutura ligeira de madeira forrada de tábuas ou caniços. A protecção exterior das paredes é normalmente feita com um reboco de cal e areia, limitando-se os trabalhos de conservação ao refechamento das sucessivas fendas que surgem e ao cuidadoso trabalho de caiação anual, tão característico nas casas rurais da zona sul do País.

Neste tipo de construção devem incluir-se ainda algumas edificações em que as paredes são simplesmente constituídas por terra argilosa amassada com areia, moldadas de encontro a taipais de madeira que são retirados após a secagem das paredes.

Fig. 42

Para agravamento das já precárias condições de segurança destas construções contribuiu também a forte pluviosidade que se verificou na zona sul durante o Inverno. Com efeito, verificou-se com frequência que o interior das paredes estava saturado de água.

Nas localidades visitadas, consideradas como das mais atingidas pelo sismo, constatou-se que

a maioria das casas que ruíram eram deste tipo, como por exemplo em Vila do Bispo e em Bensafrim. Noutras localidades algarvias, como por

Fig. 43

exemplo Portimão, grande parte das casas que observámos já escoradas tem um tipo de cons-

Fig. 44

trução semelhante, ou é de muito má alvenaria como atrás se anotou.

Nas figs. 42 a 44 apresentam-se alguns aspectos das ruínas de casas de taipa ou adobes observadas em Vila do Bispo.

Embora este tipo de construção seja dos que oferecem menos garantias sob o ponto de vista da resistência às acções sísmicas, observaram-se alguns exemplos de casas de habitação e grandes armazéns que tiveram um comportamento perfeitamente satisfatório, por terem sido adoptadas disposições construtivas adequadas que lhes conferiram um travamento e cintagem aceitáveis, como se exemplifica na fig. 45 (armazém próximo de S. Teotónio).

Exemplos deste tipo só vêm reforçar e tornar mais evidente a eficiência das boas disposições

Fig. 45

construtivas preconizadas pela regulamentação vigente, mesmo quando adoptados num tipo de construção que se reputa inadequado para uma região de forte sismicidade.

3 — COMPORTAMENTO DE OUTROS TIPOS DE CONSTRUÇÕES

Além dos edifícios, outros tipos de construções foram observados, nomeadamente, pontes de betão armado, chaminés de fábricas, barragens e depósitos de água, estes últimos de forma sistemática, devendo assinalar-se que o comportamento destas estruturas sob a acção do sismo foi, duma maneira geral, satisfatório.

Assim, nas pontes de betão armado que se

encontraram ao longo do percurso efectuado e entre as quais se citam a ponte em arco sobre a Ribeira do Torgal, construída há 33 anos, e a ponte sobre a Ribeira de Odeceixe, não foram detectadas quaisquer fendas provocadas pelo sismo. Anote-se ainda que, segundo informação obtida no departamento dos Serviços Hidráulicos com sede em Odemira, também nas pontes canais incluídas no Plano de Rega do Alentejo, a maioria das quais já havia sido vistoriada, não se tinham assinalado estragos provocados pelo sismo.

Nas chaminés de fábricas, em geral de grande altura e construídas em tijolo, os estragos não foram muito acentuados. Normalmente limitavam-se ao aparecimento de algumas fendas e à progressão da fendilhação já existente devida a um deficiente estado de conservação, embora nalguns casos, se registasse a queda da chaminé, normalmente da parte situada acima do terço inferior. Estas ruínas não foram porém muito frequentes.

Também no que se refere às barragens, não se teve notícia de quaisquer danos a assinalar.

A observação dos depósitos de água elevados, que foi sistemàticamente realizada, evidenciou o bom comportamento destas estruturas, em cujo dimensionamento as solicitações horizontais, devidas ao vento e aos sismos, são factores com grande influência. Na maioria dos depósitos observados não houve nada a assinalar. No depósito da povoação de Conceição, situado junto à estrada n.º 125 entre Tavira e Vila Real de Santo António, apenas se notou a rotura de pequenos troços da grelhagem cerâmica que envolve o fuste.

Nos depósitos situados em Grândola e no desvio para Armação de Pêra (estrada 269.1), registou-se o aparecimento de uma fenda periférica de separação entre o pavimento e a base, mais acentuada no segundo caso, em resultado do efectivo funcionamento da estrutura.

Anote-se finalmente, a mero título informativo, o aparecimento de várias fendas no pavimento betuminoso cerca do km 12 da estrada n.º 268 entre Bordeira e Carrapateira. Tratava-se de um troço construído em aterro que sobressaía cerca de 2 m da zona pantanosa envolvente.

Diversos taludes de estrada encontravam-se com vestígios de desmoronamento, mas julga-se que a sua causa fundamental se deve atribuir à forte pluviosidade verificada durante o Inverno.

4 — NATUREZA E CAUSA DOS ESTRAGOS MAIS GENERALIZADOS NAS CONSTRUÇÕES COM ESTRUTURA DE BETÃO ARMADO. DEFICIÊNCIAS ESTRUTURAIS E CONSTRUTIVAS

Em face dos objectivos da missão, havia um particular interesse na observação do comportamento dos edifícios com estrutura de betão, principalmente dos de grande porte que, por serem em geral de construção recente, deveriam ter sido abrangidos pelas disposições regulamentares que impõem a consideração das solicitações sísmicas.

Conforme já se referiu, com excepção dos casos da fábrica de cerâmica de Pinhal Novo, do posto da P. V. T. de Lagos e de algumas fendas em consolas de juntas de dilatação, não foram assinalados quaisquer estragos nas estruturas, devido certamente à fraca intensidade do sismo.

No entanto, uma muito sumária apreciação de alguns edifícios em construção ou já concluídos leva-nos a considerar com muitas reservas que apresentem a capacidade resistente necessária para suportarem, de forma satisfatória, as solicitações sísmicas previstas pela regulamentação em vigor, as quais atingem intensidades 5 a 7 vezes superiores às que se verificaram no sismo de 28 de Fevereiro de 1969.

Muitos dos edifícios observados apresentavam estragos nos acabamentos, implicando reparações que atingem, por vezes, várias dezenas de contos. Tais estragos são de atribuir, principalmente, mais a defeitos e vícios de concepção e execução do que a um funcionamento normal das estruturas.

Anotam-se, no seguimento, algumas das deficiências estruturais observadas e as causas dos estragos mais generalizados.

a) Concepção estrutural

Em muitos edifícios elevados a solicitação sísmica só é por vezes considerada, explìcitamente, numa única direcção. Edifícios de uma dezena de pisos, dispondo de pórticos convencionais numa direcção e na outra de lajes prefabricadas ou maciças, só poderão ter capacidade resistente adequada às solicitações horizontais quando tais lajes forem convenientemente dimensionadas para

este efeito, considerando-as por exemplo, como constituindo travessas de pórticos.

Note-se, no entanto, que a não existência de vigas convencionais numa das direcções, muito embora possa não trazer problemas sob o ponto de vista da resistência da estrutura, implica, normalmente, uma maior deformabilidade nessa direcção em relação à estrutura clássica na qual, além das lajes, existem vigas nas duas direcções. Este aumento de deformabilidade numa das direcções traduziu-se, correntemente, por uma predominância de fendilhação nas paredes divisórias paralelas à direcção considerada, as quais, em virtude da sua relativa fragilidade, não podem acompanhar, sem fendilhação, os deslocamentos impostos à estrutura.

Um outro tipo de deficiência estrutural consiste no aumento de rigidez que é por vezes conferido a certos elementos da estrutura, relativamente àquela com que foram consideradas no cálculo. Um tal acréscimo de rigidez provocará sobre o elemento em causa uma concentração de esforços sísmicos, para os quais o elemento estrutural em causa não está convenientemente dimensionado. Como exemplo poderá citar-se o caso da fábrica de cerâmica de Pinhal Novo.

A forte tendência que se manifesta para a construção de pilares de betão armado, com uma secção tal que permita a sua inclusão total na espessura das paredes, pode conduzir, como se constatou em alguns prédios em construção, a que pilares com uma secção da ordem de 15 × 40 cm rodem de 90° do piso térreo para os pisos superiores. A amarração dos varões dos pilares na zona de transição terá de ser, neste caso, necessàriamente deficiente.

Algumas das fendas horizontais observadas nas zonas de ligação dos panos de enchimento das paredes à face inferior das vigas são nitidamente fendas de compressão devidas, não à componente vertical do sismo, mas exclusivamente a tensões de compressão que se desenvolvem nas zonas periféricas dos edifícios em resultado dos esforços de flexão do conjunto estrutural. Como nessas zonas de ligação só há rebocos e estuques, estes materiais são esmagados.

b) Deficiências em pormenores de betão armado

Durante o decorrer da missão de que é objecto o presente relato, houve oportunidade de observar, em diversas localidades, vários edifícios em construção. Algumas das deficiências notadas, apesar de, na grande maioria dos casos, se limitarem à negligência de pormenores construtivos, contribuem bastante para uma menor segurança dessas estruturas.

Assim, é corrente executarem-se armaduras de vigas e pilares de betão armado com amarração insuficiente nos nós de ligação e apoios; a falta de cuidado na fixação das cofragens é também por vezes flagrante, conduzindo a acentuados desalinhamentos das prumadas de pilares; em juntas de trabalho em pilares encontram-se chochos preenchidos por areia, serradura, pedaços de madeira ou papéis, o que revela que tais juntas não foram convenientemente limpas e tratadas entre as duas betonagens sucessivas. A vibração mecânica do betão também não é, por vezes, bem executada, tendo-se observado até, numa obra já de certa imporância, o betão a ser compactado com simples pontas de varão.

Independentemente das deficiências apontadas, nota-se, de forma marcante, a falta de cumprimento de diversas prescrições regulamentares (R. E. B. A.) no que se refere a armaduras mínimas, distâncias máximas entre varões, emendas de armaduras, e tantas outras.

c) Juntas de dilatação

Nos edifícios em que, pelo seu grande desenvolvimento em planta, houve necessidade duma subdivisão em corpos por meio de juntas de dilatação, observaram-se, sistemàticamente, estragos resultantes do funcionamento dessas juntas, e que são de atribuir a uma concepção deficiente ou aos processos de execução e acabamento das juntas.

— Concepção deficiente

Numa estrutura anti-sísmica as juntas de dilatação deverão, além de minimizarem os efeitos das variações termo-higrométricas, permitir a livre oscilação de corpos contíguos, sem que daí resultem choques destrutivos entre corpos, quando se preveja que tais corpos terão características dinâmicas muito distintas.

Tem-se assim, que será conveniente localizar as juntas nas zonas de separação de corpos com volumes diferentes, conferindo-lhes uma abertura

tal que evite os choques entre os corpos contíguos. Cada junta deverá ser estabelecida num mesmo plano vertical, sendo conveniente não adoptar as juntas em ziguezague.

Por vezes, para evitar o recurso a pilares geminados, a estrutura é cortada fora dos eixos dos pilares, apoiando-se as vigas e lajes em elementos em consola. Como é aliás do conhecimento geral, estas juntas são normalmente muito deficientes, mesmo do ponto de vista das variações térmicas, dada a falta de cuidado com que correntemente são executadas.

Assim, observaram-se juntas deste tipo, em que não havia uma franca separação entre os dois elementos ou se desenvolviam apreciáveis forças de atrito entre as duas superfícies horizontais em contacto, por falta de tratamento conveniente. Tais esforços secundários, agravados, por vezes, pela deficiente colocação das armaduras, são responsáveis, em grande parte, pela fendilhação que se observa correntemente nestas juntas em consola (fig. 17).

Em alguns casos, observou-se que entre as duas faces horizontais da junta se interpunha um aglomerado de cortiça com 10 a 20 mm de espessura, através do qual se fazia a transmissão das reacções dum tramo sobre o outro. A deformabilidade deste elemento de transição provocava assentamentos no apoio que não eram considerados no dimensionamento da estrutura.

— Execução e acabamento das juntas

Sempre que sejam de prever choques entre corpos separados por juntas, estas deverão ter uma espessura compatível com os máximos deslocamentos previstos (da ordem de 2 a 5 cm) e nunca deverão ser preenchidas com qualquer material.

Na maioria dos edifícios observados foi difícil avaliar a espessura dessas juntas; admite-se que a espessura não exceda normalmente os 2 cm, mas constatou-se que o aglomerado negro de cortiça é sistemàticamente usado.

O remate superficial das juntas constitui um pormenor construtivo importante pois, na maioria dos casos, é uma zona frágil que pode ser bastante afectada mesmo com um sismo de fraca intensidade como o de Fevereiro de 1969.

Considera-se no entanto que grande parte destes prejuízos poderia ter sido evitada, se se tivesse prestado mais atenção ao caracter funcional dessas juntas. Assim observaram-se em edifícios de grande porte, a que correspondem grandes investimentos financeiros, e onde não faltaram certamente bons técnicos, projectistas, executantes e fiscais, que quando se aplicaram os revestimentos de acabamento se ignoraram as referidas juntas. Principalmente nos pisos inferiores, a que corresponde a parte mais nobre desse edifício, as juntas foram tapadas com pedras de cantaria de mármore ou com revestimentos de madeira, de azulejo, de mosaico de vidro ou simples estuque.

Se a este facto associarmos a já tradicional grande espessura que os rebocos necessitam para disfarçarem a falta de cuidado das cofragens (alguns com 7 cm de enchimento) e ainda a má aderência desses rebocos às peças estruturais, compreende-se que qualquer movimento da junta faz destacar grandes porções dos materiais de revestimento, que devido ao seu elevado peso podem provocar acidentes graves.

O problema do tapamento das juntas é delicado, porquanto envolve aspectos construtivos e arquitectónicos, mas julga-se que, exteriormente, poderá ser realizado com tapa-juntas metálicos em fole ou com material plástico muito deformável dinâmicamente e que garanta necessária estanqueidade. Observou-se o bom comportamento de juntas exteriores de 2 cm de espessura revestidas por um mastique que foi pintado com a mesma tinta da marmorite do edifício, não se notando qualquer fenda nas bordas dessa junta que pudesse comprometer a sua estanqueidade. Para as juntas interiores, quando não seja possível deixar os bordos abertos, há sempre o recurso a perfis de borracha, de plástico flexível, réguas de madeira ou metálicas, fixadas a um dos bordos da junta e que não provoquem estragos nos acabamentos quando do funcionamento dessas juntas. Foram observadas juntas deste tipo, em que o elemento fixado a um dos bordos era uma tira de azulejo idêntico ao do revestimento geral, e que se comportaram satisfatòriamente.

d) Elementos prefabricados

A falta de cumprimento das disposições construtivas especificadas, aliada, por vezes, a certa inconsciencialização de quem constrói, tem dado

origem a um deficiente funcionamento estrutural das construções deste tipo, quando sujeitas a solicitações sísmicas, como já foi verificado em Agadir, Skopie e Anchorage.

Na fig. 13 apresenta-se um pavimento prefabricado que ruíu. Notou-se a deficiente amarração das vigotas às vigas periféricas, a falta de armadura para absorver os momentos negativos nos apoios e de uma armadura de distribuição. Estas deficiências transformam o pavimento numa estrutura bastante frágil.

Em algumas obras em construção que foram observadas no decorrer desta missão, notaram-se deficiências do tipo atrás referido, as quais se estão a generalizar como vício corrente na construção com prefabricados.

No que se refere em particular a coberturas do tipo telhado, com elementos prefabricados, já se referiu um caso de ligação entre as ripas e as varas que eram prefabricadas, e no qual, devido aos esforços horizontais, se verificou a rotura de várias ripas e de diversas ligações deficientes feitas com argamassa (figs. 6 e 7).

e) Chaminés, platibandas e elementos decorativos

Como é do conhecimento geral foram inúmeras as quedas destes elementos, devendo-se atribuir essas quedas à má conservação das alvenarias de ligação. Os prejuízos verificados poderiam ter sido muito mais graves se a hora do sismo coincidisse com a de maior movimento nas ruas e passeios.

Quanto aos forros de cantaria, tão utilizados como revestimentos exteriores e interiores de edifícios de certo valor, foi notada uma sistemática má ligação desses elementos, não se tendo verificado a existência das ligações por gatos metálicos ou dispositivos apropriados como está regulamentarmente prescrito.

Em visitas feitas a diversos edifícios importantes foi chamada a atenção dos responsáveis para o perigo que representa o facto de inúmeras pedras de cantaria se encontrarem desligadas das paredes e já pràticamente soltas, com risco iminente de caírem sobre passeios de ruas, corredores e locais de reunião.

Para todos os elementos de construção atrás referidos a regulamentação vigente exige uma ligação eficiente, podendo o coeficiente sísmico atingir o valor de 30 %, exigência que é ignorada pela grande maioria dos técnicos responsáveis.

5 — RECOMENDAÇÕES GERAIS RELATIVAS À REPARAÇÃO E RECONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

De uma forma geral, deverá ter-se sempre presente na reparação dos danos provocados pelo sismo, principalmente quando tais danos tenham envolvido elementos de estrutura, as disposições prescritas pela regulamentação em vigor.

Chama-se particular atenção para o Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes (capítulo IX: Acção dos sismos) e para o Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos, principalmente para os artigos 16.º a 21.º, de grande aplicação nos trabalhos de reparação das estruturas em que as alvenarias são os elementos resistentes fundamentais.

A prática mais corrente, e que foi observada muito frequentemente no decorrer desta missão de estudo, consiste, exclusivamente, em colmatar com argamassa as fendas provocadas pelo sismo com ou sem fixação de gatos metálicos ligando os bordos das fendas, sem qualquer espécie de reforço da estrutura. Uma tal prática é nìtidamente condenável, e até contraproducente, pois só serve para «mascarar» uma real diminuição da capacidade resistente da estrutura.

A introdução dos clássicos «ferrolhos» ou, melhor ainda, o travamento das alvenarias resistentes com elementos de betão armado, formando cintas e montantes, total ou parcialmente incorporados na espessura das alvenarias, constitui solução de reforço relativamente económica e fácil de executar. Alguns casos de reparações com reforços do tipo referido foram aliás observados.

Cuidados especiais deverão ser tidos na fixação dos elementos salientes das construções, devendo, para o efeito, serem seguidas rigorosamente as imposições expressas nos artigos 17.º e 18º do Regulamentos de Segurança das Construções contra os Sismos. Com efeito, foram observados inúmeros casos de quedas de platibandas e elementos decorativos de fachadas de edifícios, que só não provocaram acidentes pessoais devido ao facto de ser pràticamente nula a circulação de peões à hora em que ocorreu o sismo.

Refira-se ainda, a título de exemplo, que num edifício de betão armado em construção em Faro e que nos foi possível observar em pormenor, anotou-se um grande cuidado na execução de diversos pormenores estruturais. Assim, na fig. 46, pode observar-se que, durante a betonagem da

Fig. 46

estrutura resistente, foram fixadas algumas pontas de varão, com o fim de ligar à estrutura diversos montantes de betão armado destinados a enquadrar as divisórias de tijolo.

Exemplos desta índole patenteiam claramente que, apesar de tudo, a regulamentação actualmente vigente e, também de certo modo, os trabalhos de divulgação [1] que têm sido realizados vêm exercendo, progressivamente, uma influência positiva na consciencialização dos projectistas para a necessidade de conferir às estruturas uma adequada capacidade de resistência às acções sísmicas.

6 — CONCLUSÕES

Com base nos resultados da missão, que acabam de ser apresentados, e tendo em consideração outros estudos sobre o assunto efectuados neste Laboratório Nacional é possível formular as seguintes conclusões:

a) O sismo de Fevereiro de 1969 foi um sismo de intensidade pouco elevada. Em face dos critérios expressos pela regulamentação vigente, deverá admitir-se a possibilidade de se verificarem sismos com intensidades cinco a sete vezes superiores, para os quais as estruturas deverão apresentar a necessária capacidade resistente.

A forte emotividade que envolveu a apreciação deste sismo pode conduzir a um julgamento falso da importância do problema e dar oportunidade a que se cometam erros graves, os quais poderão vir a ser pagos não por uma dezena de mortes, motivadas principalmente, por ataques cardíacos, mas por milhares de vidas humanas.

É pois imprescindível, para reduzir a possibilidade de danos tão graves, que se concebam, dimensionem e executem as estruturas de acordo com os actuais conhecimentos de engenharia sísmica.

b) Considera-se indispensável que ao realizar as obras de reparação dos edifícios se procure aumentar a sua resistência a acções sísmicas, o que poderá ser obtido seguindo as disposições construtivas gerais que constam do Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos, Decreto n.º 41658, de 31 de Maio de 1958.

Problema especialmente grave se levanta em relação a igrejas, hospitais e outros edifícios de grande porte e de construção antiga. Tais edifícios, cujo porte está próximo do limite relativo ao tipo de construção adoptado, apresentam por vezes graves defeitos de concepção estrutural. Impõe-se portanto que a sua reparação seja efectuada de modo a aumentar, na medida do possível, a sua capacidade resistente, especialmente no que se refere a solicitações horizontais.

c) Especialmente no que se refere ao Algarve, dada a sua proximidade da zona onde se têm localizado os epicentros da grande maioria dos sismos que mais afectaram o País, é indispensável cuidar devidamente da segurança em relação a riscos sísmicos.

O problema põe-se com particular acuidade em face do desenvolvimento recente desta zona que envolve a execução de numerosas estruturas, algumas de grande porte.

---

[1] De entre estes trabalhos merecem realce as reuniões, colóquios e cursos sobre engenharia sísmica que o LNEC tem vindo a realizar de alguns anos a esta parte.

d) Verifica-se ainda que os tipos mais generalizados de construções tradicionais não são adequados para resistirem às solicitações sísmicas. Se bem que estas construções possam apresentar uma apreciável capacidade de resistência a solicitações horizontais de tipo estático, o seu comportamento dinâmico sob a acção dum sismo poderá ser muito prejudicado pela falta de ductilidade de diversos elementos.

A resistência duma estrutura aos sismos, principalmente aos de grande intensidade, reside, fundamentalmente, na sua capacidade de absorção de energia através de deformações não elásticas. Construções em que a grande maioria dos elementos apresenta um comportamento frágil não possuem, em geral, a necessária capacidade de absorção de energia, pelo que os estragos serão apreciáveis mesmo sob a acção dum sismo de média intensidade. Este facto tem sido evidenciado pelas missões que nos últimos anos estudaram o comportamento de edifícios em cidades afectadas por fortes sismos.

e) Outro aspecto importante reside na necessidade de serem devidamente cuidados os pormenores construtivos.

Verificou-se que a maior parte dos danos resultou de deficiências e erros cometidos quando da execução. Tais deficiências traduziram-se, sobretudo, em elevados custos de reparação.

Em conclusão, tem-se que se as solicitações sísmicas forem correctamente consideradas, se forem devidamente calculados os esforços nos diversos elementos estruturais e estes elementos convenientemente dimensionados, se forem adoptados materiais que garantam, além duma elevada resistência em regime elástico, uma elevada capacidade de deformação não elástica, as estruturas serão capazes de se comportarem satisfatòriamente mesmo sob a acção de sismos intensos, cuja ocorrência está implìcitamente prevista na regulamentação vigente no País.

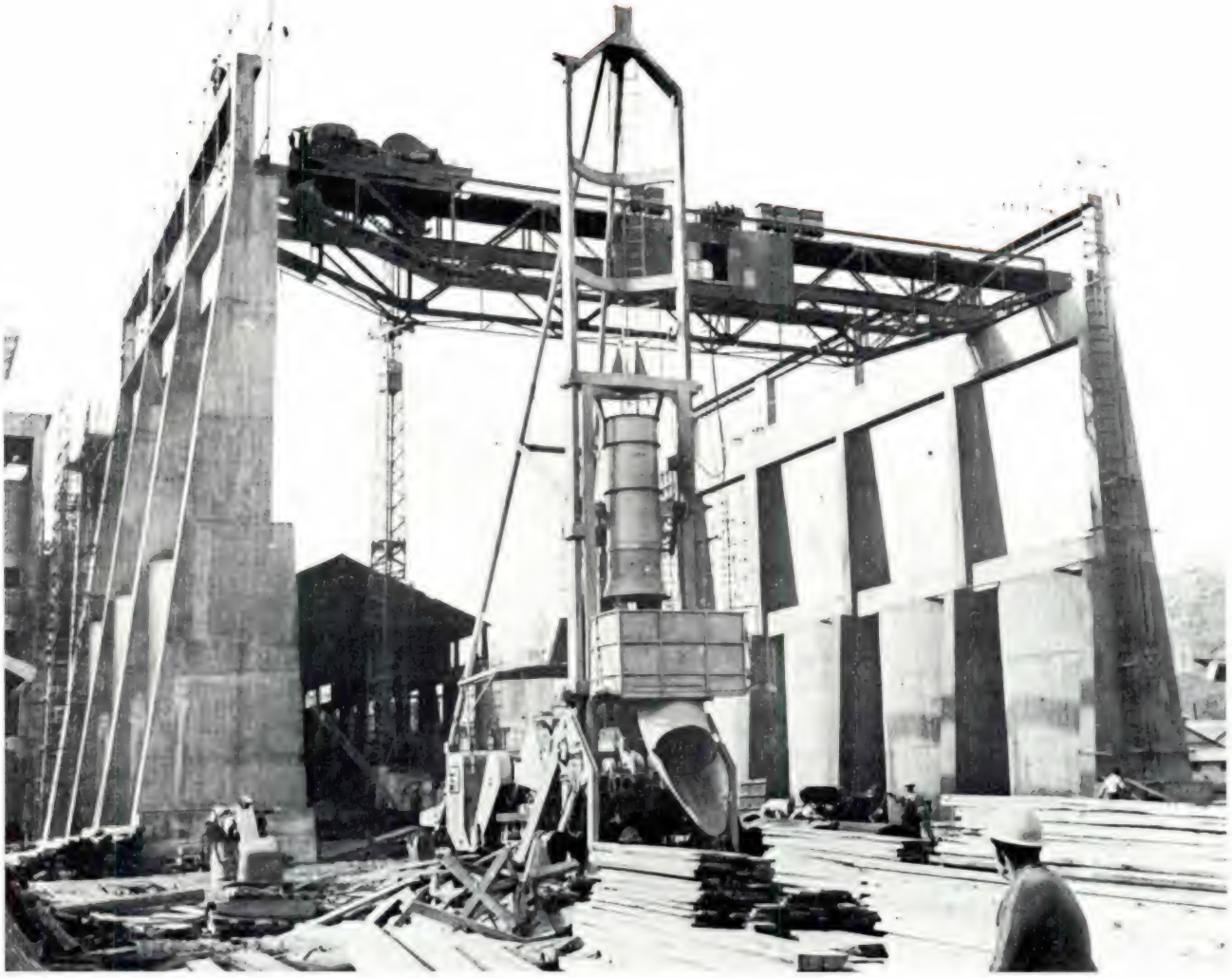
Participaram na missão do LNEC o ajudante de experimentador Carlos Morgado Rosa, o fotógrafo Júlio Marques e o motorista Manuel Alves Fernandes. O especialista em geologia do LNEC, Dr. Ricardo de Oliveira, prestou colaboração no seu domínio de actividade.

Importa salientar e agradecer a colaboração prestada pelo Serviço Meteorológico Nacional a esta missão, particularmente a que nos foi dada pelo Dr. Mário Trepa e seus colaboradores.

Os autores agradecem ainda a todas as entidades oficiais e particulares que, nas diversas localidades, prestaram eficiente colaboração aos trabalhos da missão, com especial destaque para o Sr. Eng.º Joaquim Belchior e para a corporação dos Bombeiros Voluntários de Sines, que, nas regiões de Faro e de Sines, se prontificaram a acompanhar a missão.

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13-3º TELEF. 366506 LISBOA 2 • DELEGAÇÕES: CABO VERDE · ANGOLA · MOÇAMBIQUE

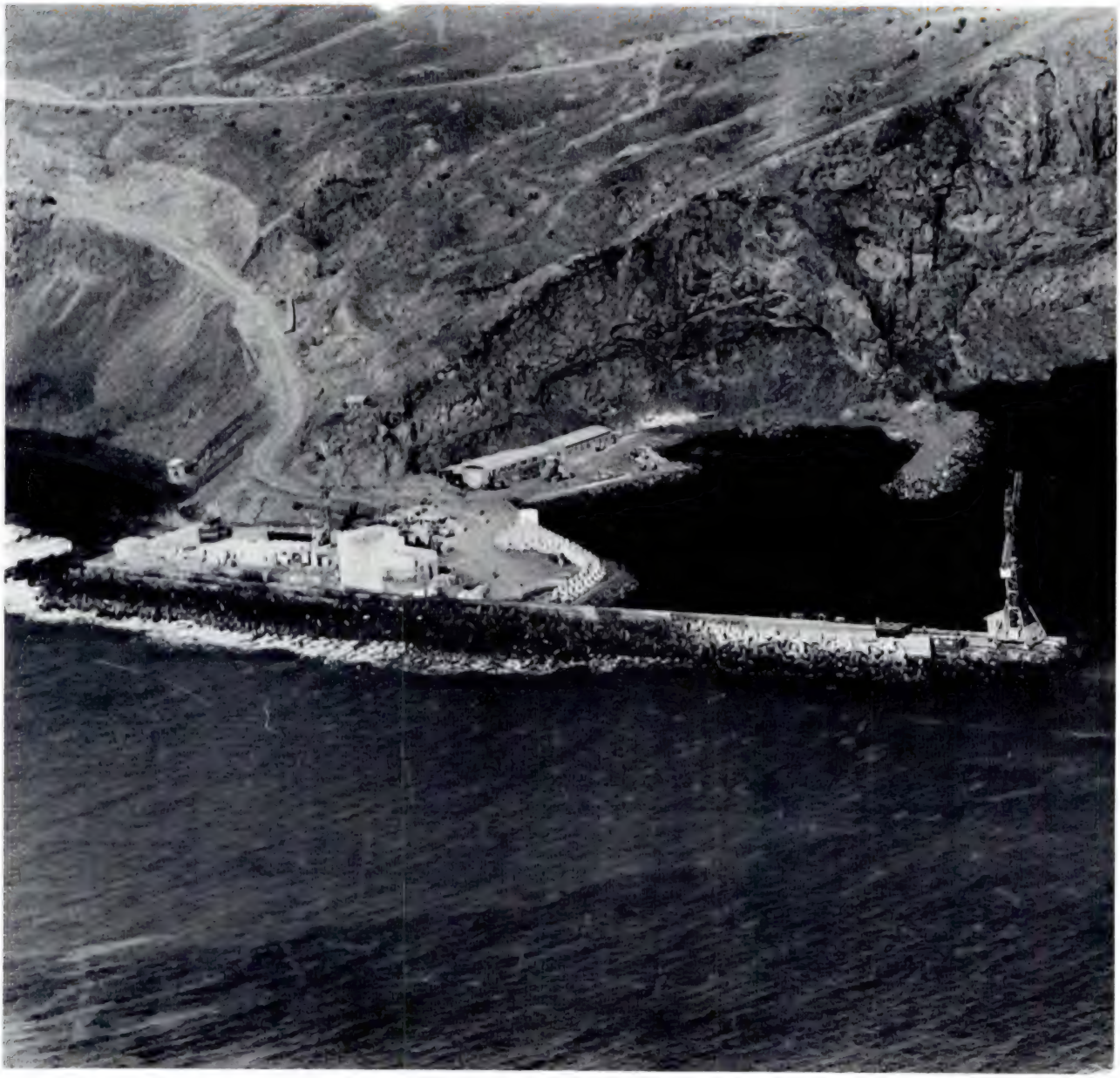


COMPANHIA CIMENTO TEJO — Alhandra — Hangar para clínquer. Fundações com estacas Ø 1,00 metro. Estacas de areia para drenagem do subsolo lodoso.

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS
SILOS E CHAMINÉS
FUNDAÇÕES ESPECIAIS
PONTES E VIADUTOS
CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, LDA.

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13-3º TELEF. 366506 LISBOA 2 • DELEGAÇÕES: CABO VERDE · ANGOLA · MOÇAMBIQUE



MINISTÉRIO DO ULTRAMAR — DIRECÇÃO-GERAL DE OBRAS PÚBLICAS E COMUNICAÇÕES
Ilha do Fogo (Cabo Verde) — Obras Portuárias de Vale de Cavaleiros.

PROSPECÇÃO GEOTÉCNICA
OBRAS MARÍTIMAS E PORTUÁRIAS
SILOS E CHAMINÉS
FUNDAÇÕES ESPECIAIS
PONTES E VIADUTOS
CONSTRUÇÕES INDUSTRIAIS

C. D. U. 621.315.09

LINHAS POLIFÁSICAS UNIFORMES E LINEARES EM FUNCIONAMENTO SINUSOIDAL PERMANENTE EQUILIBRADO

I — TEORIA GERAL

Por HERMÍNIO DUARTE-RAMOS
Engenheiro Electrotécnico (I.S.T.)
Assistente da U.L. (Angola)

RESUMO

A teoria exposta é a generalização da análise das linhas eléctricas de transmissão ao caso das linhas polifásicas uniformes através do cálculo matricial.

SINOPSYS

This theory is the generalization of the mathematical analysis of the electrical transmission lines to the homogeneous polyphase transmission lines by the matrix analysis.

1 — INTRODUÇÃO

O estudo clássico das linhas eléctricas de transmissão é feito a partir de um esquema relativo a uma rede monofásica, cujos resultados fàcilmente se estendem a qualquer número de fases tendo em atenção os valores das respectivas tensões.

Pode contudo efectuar-se um estudo similar, de um modo bastante elegante, através do cálculo matricial, conforme se apresenta nos parágrafos seguintes. As considerações gerais efectuadas permitirão posteriormente analisar as propriedades das linhas nos casos particulares da existência de simetria, passividade ou reciprocidade.

Esta matéria foi tratada durante a regência da cadeira «Aplicações da Electricidade II» no curso de Engenharia Electrotécnica da Universidade de Luanda, no ano lectivo de 1968-69, quando do estudo das linhas de transmissão.

2 — EQUAÇÕES DIFERENCIAIS MATRICIAIS FUNDAMENTAIS DA LINHA

Considere-se uma *linha uniforme*, de parâmetros uniformemente distribuídos a todo o comprimento, com m fases e um condutor neutro (ou terra), como esquematiza a figura 1, sendo i_k a intensidade de corrente instantânea no condutor da fase k, v_k a tensão correspondente entre o condutor dessa fase e o neutro, em regime de funcionamento permanente alternado sinusoidal equilibrado, e x a distância a uma origem arbitrária do plano π_x normal à linha onde se verificam aqueles valores.

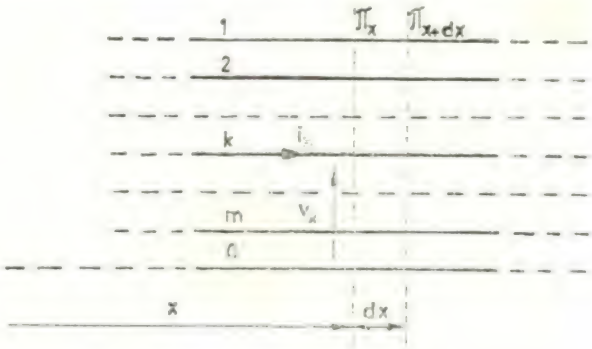


Fig. 1 — Linha polifásica.

Um troço elementar de linha de comprimento infinitesimal dx, definido por dois planos π_x e π_{x+dx} normais à linha, é caracterizado pelos seguintes *parâmetros:* impedâncias longitudinais e transversais, próprias e mútuas, correspondentes a todas as fases e neutro. Sem introduzir quaisquer condições de passividade nem de simetria pode esquematizar-se o troço relativo à fase genérica k como indica a figura 2. Note-se todavia que o facto da linha uniforme ter os parâmetros uniformemente distribuídos ao longo de todo o comprimento suscita a existência

de uma simetria longitudinal, que terá de ser demonstrada.

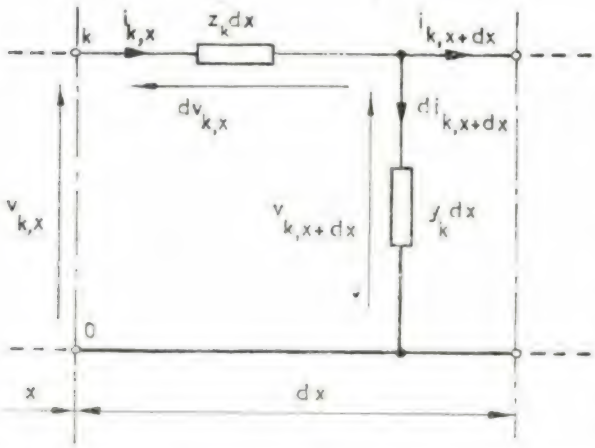


Fig. 2 — Esquema equivalente de um troço elementar de uma fase da linha.

Sendo $\bar{z}$ a impedância longitudinal complexa da fase k por unidade de comprimento, a *impedância longitudinal complexa* num troço elementar dessa fase será

$$\bar{Z}_k = \bar{z}_k \, dx \tag{1}$$

e, anàlogamente, definindo $\bar{y}_k$ a admitância transversal complexa da fase genérica k por unidade de comprimento, a *admitância transversal complexa* da mesma fase terá a expressão, para o troço considerado

$$\bar{Y}_k = \bar{y}_k \, dx \, . \tag{2}$$

A queda de tensão no troço elementar do condutor da fase k é uma função linear das intensidades de corrente das m fases do sistema

$$d\bar{v}_k = -\sum_{j=1}^{m} \bar{z}_{kj} \, dx \, \bar{i}_j \tag{3}$$

onde $\bar{z}_{kk}$ é a *impedância própria* do condutor da fase k por unidade de comprimento e em que $\bar{z}_{kj}$ para $j \neq k$ traduz as *impedâncias mútuas unitárias*.

Para todo o sistema de m fases define-se então a *matriz das impedâncias longitudinais unitárias* da linha

$$Z = \left[\bar{z}_{kj} \right] \tag{4}$$

donde a expressão matricial relativa às quedas de tensão no troço elementar de comprimento dx das m fases

$$d\mathbf{V} = -dx \, \mathbf{Z} \, \mathbf{I} \tag{5}$$

que conduz à *1.ª equação diferencial matricial fundamental* da linha polifásica, usando o operador $p = d/dx$,

$$p \, \mathbf{V} = -\mathbf{Z} \, \mathbf{I} \tag{6}$$

que relaciona as variações ao longo da linha da tensão de cada fase com as intensidades de corrente que percorrem as fases.

Anàlogamente, a corrente elementar, correspondente à admitância transversal do troço infinitesimal considerado, é uma função linear das tensões

$$d\,\bar{i}_k = -\sum_{j=1}^{m} \bar{y}_{kj} \, dx \, \bar{v}_j \tag{7}$$

onde $\bar{y}_{kk}$ é a *admitância própria* do condutor da fase k por unidade de comprimento e $\bar{y}_{kj}$ para $j \neq k$ representa as *admitâncias mútuas unitárias*, e designando

$$\mathbf{Y} = \left[\bar{y}_{kj} \right] \tag{8}$$

a *matriz das admitâncias transversais unitárias* da linha obtém-se a *2.ª equação diferencial matricial fundamental*

$$p \, \mathbf{I} = -\mathbf{Y} \, \mathbf{V} \tag{9}$$

que relaciona as variações espaciais das intensidades de corrente com as tensões de todas as fases.

Admite-se que os parâmetros $\bar{z}_k$ e $\bar{y}_k$ definidos são independentes da intensidade de corrente e da tensão e não variam no tempo, isto é, a linha é sede de *linearidade*.

3. EQUAÇÕES EXPONENCIAIS MATRICIAIS DA LINHA

Eliminando, respectivamente, **I** ou **V** nas equações diferenciais fundamentais (6) e (9) obtém-se as equações diferenciais matriciais de 2.ª ordem

$$p^2 \, \mathbf{V} = \mathbf{Z} \, \mathbf{Y} \, \mathbf{V} \tag{10}$$

e

$$p^2 \, \mathbf{I} = \mathbf{Y} \, \mathbf{Z} \, \mathbf{I} \tag{11}$$

tendo-se admitido que as constantes da linha, e portanto **Z** e **Y**, são uniformes ao longo da linha, quer dizer, não são funções de x (linha uniforme ou homogénea).

Como o produto de duas matrizes não gosa em geral da propriedade comutativa não se pode alterar a ordem das matrizes **Z** e **Y**, pelo que, de um modo genérico, as equações anteriores não são análogas.

Para dar a estas expressões outra forma fìsicamente mais significativa definem-se as seguintes matrizes: *matriz das constantes de propagação das tensões*

$$\Gamma = (\mathbf{Y}\,\mathbf{Z})^{\frac{1}{2}} \tag{12}$$

e *matriz das constantes de propagação das correntes*

$$\Gamma' = (\mathbf{Y}\,\mathbf{Z})^{\frac{1}{2}}. \tag{13}$$

Vê-se que, no caso geral, existe ambiguidade de sinal de ambas as matrizes resultante da raiz quadrada. Mas nem todos os valores da raiz quadrada de uma matriz têm significado físico, havendo pois que estabelecer um critério para determinar os valores fìsicamente significativos.

As equações (10) e (11) apresentam então o aspecto seguinte:

$$p^2\,\mathbf{V} = \Gamma^2\,\mathbf{V} \tag{14}$$

e

$$p^2\,\mathbf{I} = \Gamma'^2\,\mathbf{I}. \tag{15}$$

A solução de cada uma destas equações diferenciais será tal que a sua segunda derivada seja o produto da matriz Γ^2 pelo vector **V** e Γ'^2 por **I**. Este facto sugere soluções do tipo exponencial que fàcilmente, por substituição, se verifica serem, respectivamente, da forma

$$\mathbf{V} = e^{\Gamma x}.\,\mathbf{C}_1 + e^{-\Gamma x}.\,\mathbf{C}_2 \tag{16}$$

e

$$\mathbf{I} = e^{\Gamma' x}\,\mathbf{C}'_1 + e^{-\Gamma' x}.\,\mathbf{C}'_2 \tag{17}$$

onde os vectores de integração $\mathbf{C}_1$, $\mathbf{C}_2$, $\mathbf{C}'_1$ e $\mathbf{C}'_2$ se determinam pelas condições aos limites.

Se existirem as matrizes $\mathbf{Z}^{-1}$ e $\mathbf{Y}^{-1}$, respectivamente matrizes inversas das matrizes **Z** e **Y**, pode escrever-se, devido às equações fundamentais (6) e (9)

$$\mathbf{V} = \mathbf{Y}^{-1}\,\Gamma\,(-e^{\Gamma' x}.\,\mathbf{C}'_1 + e^{-\Gamma' x}.\,\mathbf{C}'_2) \tag{18}$$

e

$$\mathbf{I} = \mathbf{Z}^{-1}\,\Gamma\,(-e^{\Gamma x}.\,\mathbf{C}_1 + e^{-\Gamma x}.\,\mathbf{C}_2). \tag{19}$$

Para exprimir estas relações numa notação fìsicamente mais conveniente, definem-se as seguintes matrizes: *matriz das impedâncias de onda das tensões*

$$\mathbf{Z}_0 = \Gamma^{-1}.\,\mathbf{Z}\,, \tag{20}$$

matriz das impedâncias de onda das correntes

$$\mathbf{Z}'_0 = \mathbf{Y}^{-1}.\,\Gamma'\,, \tag{21}$$

matriz das constantes de transmissão das tensões

$$\mathbf{G} = \Gamma.\,x \tag{22}$$

e matriz das constantes de transmissão das correntes

$$\mathbf{G}' = \Gamma'.\,x\,. \tag{23}$$

Admitida a existência da matriz $\mathbf{Z}^{-1}$ e no caso da matriz Γ ser regular, isto é, ser diferente de zero o seu determinante, existirá a matriz inversa da matriz das impedâncias de onda das tensões

$$\mathbf{Z}_0^{-1} = \Gamma.\,\mathbf{Z}^{-1}\,. \tag{24}$$

Assim as equações (16) e (17) escrevem-se

$$\mathbf{V} = e^{\mathbf{G}}.\,\mathbf{C}_1 + e^{-\mathbf{G}}.\,\mathbf{C}_2 \tag{25}$$

$$\mathbf{I} = e^{\mathbf{G}'}.\,\mathbf{C}'_1 + e^{-\mathbf{G}'}.\,\mathbf{C}'_2 \tag{26}$$

e anàlogamente as equações (18) e (19)

$$\mathbf{V} = \mathbf{Z}'_0\,(-e^{\mathbf{G}'}.\,\mathbf{C}'_1 + e^{-\mathbf{G}'}.\,\mathbf{C}'_2) \tag{27}$$

$$\mathbf{I} = \mathbf{Z}_0^{-1}\,(-e^{\mathbf{G}}.\,\mathbf{C}_1 + e^{-\mathbf{G}}.\,\mathbf{C}_2). \tag{28}$$

Os vectores de integração podem calcular-se pelas condições aos limites, definidos para $x = o$: $\mathbf{V} = \mathbf{V}_0$ e $\mathbf{I} = \mathbf{I}_0$.

A partir da equação (25) conclui-se

$$V_0 = C_1 + C_2 \qquad (29)$$

e pela equação (28)

$$I_0 = Z_0^{-1} (-C_1 + C_2) \qquad (30)$$

pois $G = 0$ e $G' = 0$, em virtude de $x = o$ e $e^0 = 1$.

Nestas condições

$$C_1 = \frac{1}{2} (V_0 - Z_0 I_0) \qquad (31)$$

e

$$C_2 = \frac{1}{2} (V_0 - Z_0 I_0) \qquad (32)$$

que substituídas nas equações (25) e (28) conduzem às *equações exponenciais matriciais da linha*

$$V = \frac{1}{2} e^G (V_0 - Z_0 I_0) + \frac{1}{2} e^{-G} (V_0 + Z_0 I_0)$$

e (33)

$$I = -\frac{1}{2} Z_0^{-1} e^G (V_0 - Z_0 I_0) + \frac{1}{2} e^{-G} (V_0 + Z_0 I_0) \qquad (34)$$

em que as primeiras parcelas dos segundos membros se referem às ondas incidentes e as segundas às ondas reflectidas, respectivamente, das tensões e das correntes, todas expressas nos parâmetros das tensões (Z_0 e G).

4. EQUAÇÕES HIPERBÓLICAS MATRICIAIS DA LINHA

Exprimindo as exponenciais matriciais nas funções hiperbólicas matriciais

$$\text{sh}\, G = \frac{1}{2} (e^G - e^{-G})$$

e

$$\text{ch}\, G = \frac{1}{2} (e^G + e^{-G})$$

em que

$$\text{sh}\, G = G + \frac{1}{3!} G^3 + \frac{1}{5!} G^5 + \ldots$$

e

$$\text{ch}\, G = 1 + \frac{1}{2!} G^2 + \frac{1}{4!} G^4 + \ldots$$

ou

$$e^G = \text{ch}\, G + \text{sh}\, G$$

e

$$e^{-G} = \text{ch}\, G - \text{sh}\, G$$

sendo portanto

$$e^G = 1 + G + \frac{1}{2!} G^2 + \frac{1}{3!} G^3 + \ldots$$

determinam-se as *equações hiperbólicas matriciais da linha*, pela substituição em (33) e (34) e simplificando:

$$V = (\text{ch}\, G)\, V_0 - (\text{sh}\, G)\, Z_0\, I_0 \qquad (35)$$

$$I = -Z_0^{-1} (\text{sh}\, G)\, V_0 + Z_0^{-1} (\text{ch}\, G)\, Z_0\, I_0. \qquad (36)$$

Atendendo a que uma matriz e uma função dessa matriz são permutáveis, em virtude das definições (20) e (22) e ainda (24) será

$$Z_0^{-1} (\text{ch}\, G)\, Z_0 = Z^{-1} (\text{ch}\, G)\, Z \qquad (37)$$

pelo que a equação (36) se pode escrever

$$I = -Z_0^{-1} (\text{sh}\, G)\, V_0 + Z^{-1} (\text{ch}\, G)\, Z\, I_0. \qquad (38)$$

As equações (35) e (38) constituem o sistema de equações híbrido da linha

$$\begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch}\, G & -(\text{sh}\, G)\, Z_0 \\ -Z_0^{-1} \text{sh}\, G & Z^{-1} (\text{sh}\, G)\, Z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix} \qquad (39)$$

Multiplicando (35) por ch G e (36) por (sh G). . Z_0 à esquerda, somando e porque duas funções da mesma matriz são permutáveis entre si, após simplificação, atendendo à propriedade

$$\text{ch}^2\, G - \text{sh}^2\, G = 1$$

deduz-se

$$V_0 = \text{ch}\, G\, V + (\text{sh}\, G)\, Z_0\, I. \qquad (40)$$

Multiplicando (35) por Z_o^{-1} sh G e (36) por Z_o^{-1} (ch G) Z_o à esquerda, somando membro a membro e simplificando, obtém-se

$$I_o = Z_o^{-1} (\text{sh } G)\, V + Z_o^{-1} (\text{ch } G)\, Z_o\, I \quad (41)$$

ou, devido a (37),

$$I_o = Z_o^{-1} (\text{sh } G)\, V + Z^{-1} (\text{ch } G)\, Z\, I\,. \quad (42)$$

Assim as equações da linha (40) e (41) ou (39) constituem o *sistema híbrido de equações hiperbólicas matriciais da linha*

$$\begin{bmatrix} V_o \\ I_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{ch } G & (\text{sh } G)\, Z_o \\ Z_o^{-1} \text{sh } G & Z^{-1} (\text{ch } G)\, Z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix} \quad (43)$$

designando-se sistema híbrido por as variáveis dependentes e independentes não serem exclusivamente ou só tensões ou só correntes.

5. EQUAÇÃO GERAL DA LINHA

O sistema matricial (39) pode ainda ter uma notação mais simples introduzindo o *vector híbrido tensões-correntes*

$$N = \begin{bmatrix} V \\ I \end{bmatrix}, \quad (44)$$

o *vector híbrido tensões-correntes iniciais*

$$N_o = \begin{bmatrix} V_o \\ I_o \end{bmatrix}. \quad (45)$$

e a *matriz de transferência inversa da linha*

$$T_i = \begin{bmatrix} \text{ch } G & -(\text{sh } G)\, Z_o \\ -Z_o^{-1} \text{sh } G & Z^{-1} (\text{ch } G)\, Z \end{bmatrix} \quad (46)$$

que é portanto uma matriz híbrida, por estar associada a um sistema de equações híbrido. Chama-se matriz de transferência inversa por corresponder à noção inversa de matriz de transferência, pois sendo então a linha representada pela relação matricial

$$N = T_i\, N_o \quad (47)$$

o vector N funciona como vector das variáveis dependentes e N_o como vector das variáveis independentes, o que é contrário ao normal no estudo das linhas, visto que a partir das grandezas no terminal de recepção se pretende conhecer os respectivos valores no terminal de emissão ou origem.

Contudo a expressão (47) mostra já que, dadas as condições das tensões e das correntes na origem da linha, basta calcular a matriz de transferência inversa (que é função de G e Z_o) para se determinarem as tensões e as intensidades de corrente em qualquer ponto da linha caracterizado pela distância x à origem.

Definindo a *matriz de transferência da linha*, do mesmo modo uma matriz híbrida, associada ao sistema de equações da linha (43)

$$T = \begin{bmatrix} \text{ch } G & (\text{sh } G)\, Z_o \\ Z_o^{-1} (\text{sh } G) & Z^{-1} (\text{ch } G)\, Z \end{bmatrix} \quad (48)$$

a *equação geral da linha* será

$$N_o = T\, N\,. \quad (49)$$

6 — EQUAÇÕES DA LINHA REFERIDAS ÀS GRANDEZAS DAS CORRENTES

O sistema de equações da linha (43), e portanto a matriz de transferência T, está referido à matriz das impedâncias de onda das tensões Z_o (ou sua inversa) e à matriz das constantes de transmissão das tensões G, em virtude de se ter expresso as equações (25) e (28) apenas nos vectores de integração C_1 e C_2, dados pelas relações (31) e (32).

Anàlogamente, pode exprimir-se as equações da linha nas grandezas relativas às intensidades de corrente, definidas por (21) e (23), respectivamente a matriz das impedâncias de onda das correntes e a matriz das constantes de transmissão das correntes.

A partir das equações (26) e (27) e para as condições aos limites definidas para x = o (V_o e I_o), deduz-se

$$C_1' = \frac{1}{2} (I_o - Z_o^{-1}\, V_o) \quad (50)$$

e

$$C_2' = \frac{1}{2} (I_o + Z_o'^{-1}\, V_o) \quad (51)$$

donde, por substituição em (26) e (27), se pode determinar as *equações exponenciais matriciais da linha às correntes*

$$\mathbf{V} = -\frac{1}{2}\mathbf{Z}'_0\, e^{\mathbf{G}'}\,(\mathbf{I}_0 - \mathbf{Z}'^{-1}_0\,\mathbf{V}_0) + \\ + \frac{1}{2}\mathbf{Z}'_0\, e^{-\mathbf{G}'}\,(\mathbf{I}_0 + \mathbf{Z}'^{-1}_0\,\mathbf{V}_0) \qquad (52)$$

e

$$\mathbf{I} = \frac{1}{2}\, e^{\mathbf{G}'}\,(\mathbf{I}_0 - \mathbf{Z}'^{-1}_0\,\mathbf{V}_0) + \\ + \frac{1}{2}\, e^{-\mathbf{G}'}\,(\mathbf{I}_0 + \mathbf{Z}'^{-1}_0\,\mathbf{V}_0) \qquad (53)$$

que, por desenvolvimento das exponenciais e simplificação, conduzem às *equações hiperbólicas matriciais da linha às correntes*

$$\mathbf{V} = \mathbf{Z}'_0\,(\mathrm{ch}\,\mathbf{G}')\,\mathbf{Z}'^{-1}_0\,\mathbf{V}_0 - \mathbf{Z}'_0\,(\mathrm{sh}\,\mathbf{G}')\,\mathbf{I}_0 \qquad (54)$$

e

$$\mathbf{I} = -\,(\mathrm{sh}\,\mathbf{G}')\,\mathbf{Z}'^{-1}_0\,\mathbf{V}_0 + \mathrm{ch}\,\mathbf{G}'\,\mathbf{I}_0 \qquad (55)$$

ou, ainda, atendendo às relações entre as funções hiperbólicas matriciais e tendo em vista que as funções da mesma matriz são permutáveis entre si,

$$\mathbf{V}_0 = \mathbf{Z}'_0\,(\mathrm{ch}\,\mathbf{G}')\,\mathbf{Z}'^{-1}_0\,\mathbf{V} + \mathbf{Z}'_0\,\mathrm{sh}\,\mathbf{G}'\,\mathbf{I} \qquad (56)$$

e

$$\mathbf{I}_0 = (\mathrm{sh}\,\mathbf{G})\,\mathbf{Z}'^{-1}_0\,\mathbf{V} + \mathrm{ch}\,\mathbf{G}'\,\mathbf{I} \qquad (57)$$

obtendo-se a *matriz de transferência da linha às correntes*

$$\mathbf{T}' = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}'_0\,(\mathrm{ch}\,\mathbf{G}')\,\mathbf{Z}'^{-1}_0 & \mathbf{Z}'_0\,\mathrm{sh}\,\mathbf{G}' \\ (\mathrm{sh}\,\mathbf{G}')\,\mathbf{Z}'^{-1}_0 & \mathrm{ch}\,\mathbf{G}' \end{bmatrix} \qquad (58)$$

que determina a *equação geral* da linha

$$\mathbf{N}_0 = \mathbf{T}'\,\mathbf{N} \qquad (59)$$

sendo $\mathbf{T}'$ função de $\mathbf{Z}'_0$ e $\mathbf{G}'$.

Tal como (39) também as equações (54) e (55) se podem reunir na expressão

$$\mathbf{N} = \mathbf{T}'_i\,\mathbf{N}_0 \qquad (60)$$

pela *matriz de transferência inversa às correntes*

$$\mathbf{T}'_i = \begin{bmatrix} \mathbf{Z}'_0\,(\mathrm{ch}\,\mathbf{G}')\,\mathbf{Z}'^{-1}_0 & -\mathbf{Z}'_0\,(\mathrm{sh}\,\mathbf{G}') \\ -\,(\mathrm{sh}\,\mathbf{G}')\,\mathbf{Z}'^{-1}_0 & \mathrm{ch}\,\mathbf{G} \end{bmatrix} \qquad (61)$$

As equações (33) e (53) apresentam exactamente a mesma estrutura mas referidas, a primeira às grandezas características das tensões e a segunda às grandezas das correntes; as primeiras parcelas representam as ondas incidentes das tensões e das correntes, respectivamente com as constantes de propagação definidas pelas matrizes $\mathbf{G}$ e $\mathbf{G}'$ e com a matriz de impedâncias características $\mathbf{Z}_0$ e $\mathbf{Z}'_0$; do mesmo modo as segundas parcelas exprimem as ondas reflectidas.

Poder-se-iam ainda definir matrizes de transferência mistas, mas sem grande interesse, como se verá pelas propriedades inerentes à matriz de transferência referida às tensões (ou simplesmente matriz de transferência).

7. PROPRIEDADES DA MATRIZ DE TRANSFERÊNCIA

Multiplicando (39) à esquerda por $\mathbf{T}$ vem

$$\mathbf{T}\,\mathbf{N} = \mathbf{T}\,\mathbf{T}_i\,\mathbf{N}_0 \qquad (62)$$

que, comparando com (47) conduz a

$$\mathbf{T}\,\mathbf{T}_i = 1 \qquad (63)$$

sendo portanto

$$\mathbf{T}_i = \mathbf{T}^{-1}\,. \qquad (64)$$

De facto pelas expressões (46) e (48) é fácil mostrar a propriedade de que a *matriz inversa da matriz de transferência existe e é igual à matriz de transferência inversa*, o que revela já a existência de uma simetria longitudinal da linha.

Por outro lado, comparando agora as expressões (46) e (48) percebe-se que o determinante da matriz de transferência seja igual a + 1, pois por definição de matriz inversa cada elemento é

$$T^{-1}_{jk} = (-1)^{j+k}\,.\,\frac{M_{kj}}{\det T}$$

em que M_{kj} é o menor referido à linha j e coluna k, que neste caso se reduz a um só elemento.

Do mesmo modo por meio de (58) e (61), ou por meio de (59) e (60), pode verificar-se

$$\mathbf{T}'\,\mathbf{T}'_i = 1 \qquad (65)$$

donde

$$T_i' = T'^{-1} \quad . \tag{66}$$

Comparando (49) e (59), duas equações aplicáveis à linha, conclui-se a *identidade de ambas as matrizes de transferência* referidas às grandezas das tensões e das correntes:

$$T\,(Z_o\,,\,G) = T'\,(Z_o'\,,\,G') \tag{67}$$

quer dizer, apesar do aspecto diferente, as equações (48) e (58) são idênticas, sendo portanto unívoca cada uma das matrizes de transferência, não obstante as matrizes Z_o, Z_o', G e G' poderem ter várias determinações, pois a raíz quadrada de uma matriz de ordem m x m possui em geral 2^m valores possíveis.

Esta propriedade suscita a existência de relações de analogia entre Z_o e Z_o' e entre G e G'.

A matriz de transferência correspondente a um conjunto de *linhas uniformes em cadeia*, tendo por consequência a mesma impedância de onda, obtém-se por multiplicação matricial das matrizes de transferência das linhas parciais. Se a impedância de onda de n linhas uniformes colocadas em cascata for a mesma (Z_o), verifica-se fàcilmente que a matriz de transferência gosa das seguintes propriedades aditivas, quaisquer que sejam os valores de G:

$$T\,(Z_o,\,G_1).\;T\,(Z_o,\,G_2)\,\ldots\,T\,(Z_o,\,G_n) = \\ = T\,(Z_o,\,\sum_{k=1}^{n} G_k) \tag{68}$$

e

$$[T\,(Z_o,G)]^{\pm n} = T\,(Z,I^{\pm n}G)\;. \tag{69}$$

É evidente que T' gosa das mesmas propriedades.

8 — CONCLUSÕES

A análise matricial permitiu generalizar as equações das linhas ao caso das linhas polifásicas uniformes, lineares e em funcionamento sinusoidal permanente equilibrado.

Por meio dos conceitos apresentados verifica-se uma perfeita identidade de formalismo com as equações de uma linha monofásica em idênticas condições físicas e de funcionamento.